

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

L'ENTRAÎNEMENT AÉROBIE EN HYPEROXIE CHEZ LES PERSONNES
AYANT SUBI UN TRAUMATISME CRÂNIO-CÉRÉBRAL MODÉRÉ/SÉVÈRE

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR
ELISE BUSILACCHI

MAI 2007

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Après l'intensité des deux dernières années, voilà que s'achève une belle aventure. Une aventure heureusement partagée avec des personnes que je tiens à remercier sincèrement :

Mes chères sœurs, mes parents, ma famille et mes amis. Pour votre soutien et votre présence inconditionnels tout au long de ce beau et grand défi pour moi. Dans tous ces moments où je doute et m'interroge sur le but de mon existence ! Merci !

Alain Comtois, co-directeur du projet, pour ton implication technique, «linguistique» !, intellectuelle et physiologique ! Merci !

Geneviève Lemire et Eric LeBouthillier, du Centre de Réadaptation Lucie-Bruneau. Pour votre implication et dévotion toujours généreuse et sentie. Merci !

Geneviève Cadoret, directrice du projet. Chère Geneviève ! Pour la qualité de ta présence, de tes conseils, de ton calme et de ton énergie. Pour avoir toujours su me guider, me recentrer, tout au long de la traversée. Mais d'abord et avant tout pour tes qualités d'Être et de Cœur. Merci !

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX.....	v
RÉSUMÉ	vi
CHAPITRE I	
INTRODUCTION	1
1.1 Objectifs	2
1.2 Hypothèse de recherche	2
1.3 Importance.....	2
1.4 Limites	3
CHAPITRE II	
REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	5
2.1 Portrait de la clientèle traumatisée crânio-cérébrale (TCC).....	5
2.2 Le TCC: une pathologie complexe	6
2.2.1 Variabilité de la clientèle	6
2.2.2 Fatigabilité	7
2.3 Les effets de l'exercice suite à un traumatisme crânien.....	9
2.3.1 Modèles animaux	9
2.3.2 Effets de l'entraînement aérobie chez une clientèle ayant subi un traumatisme crânien (TCC).....	10
2.3.3 Effets de l'entraînement sur les habiletés fonctionnelles.....	11
2.3.4 Limite du rendement physiologique chez une clientèle TCC	12
2.3.5 Oxygénothérapie	12
CHAPITRE III	
MÉTHODOLOGIE.....	15
3.1 Les sujets	15
3.1.1 Recrutement	15
3.1.2 Critères d'inclusion	15
3.1.3 Critères d'exclusion	16
3.2 Protocole expérimental.....	16
3.3 Supervisions des sujets.....	17

3.4 Mesures expérimentales	18
3.4.1 Mesures physiologiques à l'effort	18
3.4.2 Mesure de la puissance de travail	18
3.4.3 Mesure de la fatigabilité.....	19
3.4.4 Mesure de la capacité fonctionnelle à la marche	21
3.4.5 Matériel expérimental	21
CHAPITRE IV	
ANALYSE	23
CHAPITRE V	
RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	24
5.1 Effects of aerobic interval training in hyperoxia with brain injured patients	25
5.2 Adhérence au protocole d'entraînement	45
5.3 Effets de l'entraînement en hyperoxie sur la fatigue quantitative.....	45
CHAPITRE VI	
CONCLUSION	47
ANNEXE 1: Caractéristiques principales des sujets	49
ANNEXE 2 BNI Fatigue Scale.....	50
ANNEXE 3 D-KEFS	51
BIBLIOGRAPHIE	58

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figures

Figure 1	Intervalles d'intensités d'entraînement	17
Figure 2	Power after 6 training weeks.....	40
Figure 3	Improvement in power output per week	41
Figure 4	Percentage of VO ₂ increase (at 80-85% HRmax)	42
Figure 5	Subjective fatigue after 6 training weeks	43

Tableaux

Tableau 1	Subjects characteristics	44
-----------	--------------------------------	----

RÉSUMÉ

Les individus ayant subi un traumatisme crânien sont caractérisés par un rendement physiologique inférieur à la moyenne et par une fatigue persistante (Bateman *et al.*, 2001; Jankowski et Sullivan, 1990; Bhambhani *et al.*, 2005; Gordon *et al.*, 1998; Hunter *et al.*, 1990). Plusieurs protocoles d'entraînement ont été proposés à cette clientèle pour palier ces déficits. Toutefois, aucun entraînement ne semble conduire à des améliorations au niveau fonctionnel (Bateman *et al.*, 2001; Jankowski et Sullivan, 1990). Une façon d'augmenter le rendement physiologique d'un individu au cours de l'exercice est d'augmenter artificiellement l'apport d'oxygène (Perry *et al.*, 2005). L'objectif de la présente recherche est de mesurer les effets d'un entraînement aérobic avec apport supplémentaire en oxygène (hyperoxie) sur la puissance de travail et la capacité aérobic chez des patients ayant subi un traumatisme crânio-cérébral (TCC) modéré-sévère. L'objectif de l'étude est également de voir si les gains physiologiques influencent la fatigue subjective et quantitative et la performance au cours d'une activité motrice simple comme la marche.

Douze sujets TCC ont été recrutés puis aléatoirement répartie sur l'un des 2 protocoles expérimentaux suivants ; Protocole A : entraînement aérobic avec une source de 100% d'oxygène (Fraction d'oxygène inspiré ~38%) ; Protocole B : entraînement aérobic avec une source d'air médical (Fraction d'oxygène inspiré 20,9%). L'entraînement consistait en 25 minutes de pédalage avec intervalles, sur ergocycle. La durée du programme était de 10 semaines, à raison de 2 séances par semaine.

Les principales mesures sont la charge développée (en watts), la consommation d'oxygène (Test Åstrand modifié), la fatigue subjective (BNI fatigue scale), la fatigue quantitative (D-KEFS) ainsi qu'un test de marche (test de 6 minutes). Ces mesures ont été prises au début et à la fin du programme d'entraînement.

Suite à l'entraînement, une différence significative ($p < 0,05$) a été démontrée entre les données pré et post tests pour la puissance de travail, la charge maximale développée lors du test sous-maximal, ainsi que sur la fatigue subjective générale chez les sujets s'étant entraînés en hyperoxie. Aucune différence n'a été observée pour les sujets s'étant entraînés avec air médical (20,9% O_2) de même qu'entre les deux groupes pour la consommation d'oxygène, au test de marche de 6 minutes et la fatigue quantitative.

L'apport d'oxygène au cours de l'entraînement aérobic permet aux patients ayant subi un traumatisme crânien d'augmenter leur puissance de travail et de diminuer leur perception générale de fatigue. La remise en forme physique des patients TCC devient alors un préalable au succès de la réadaptation puisqu'elle permet aux patients d'être davantage réceptifs aux diverses interventions multidisciplinaires.

Mots clés : Traumatisme crânio-cérébral, hyperoxie, entraînement avec intervalles, fatigue, consommation d'oxygène

CHAPITRE I

INTRODUCTION

Le présent projet de recherche a pour objectif de mesurer les effets d'un nouveau protocole d'entraînement aérobique chez des patients ayant subi un traumatisme crânien. Nous savons que l'entraînement aérobique a des effets bénéfiques sur la condition physique des patients traumatisés crâniens (Jankowski et Sullivan, 1990; Hunter et al., 1990; Bateman et al., 2001; Bhambhani et al., 2005). Toutefois les recherches démontrent que la portée de ces bénéfices est très limitée. Les patients ne semblent retirer aucun gain fonctionnel suite à l'entraînement (Bateman et al., 2001; Jankowski et Sullivan, 1990). Une des raisons évoquées pouvant expliquer cette limite est que les patients traumatisés crâniens ont un rendement physiologique nettement inférieur à une clientèle régulière s'entraînant dans les mêmes conditions (Hunter et al., 1990; Jankowski et Sullivan, 1990). Une façon relativement simple d'augmenter le rendement physiologique d'un individu au cours de l'exercice est d'augmenter artificiellement l'apport d'oxygène via des canules nasales. Cette méthode s'est révélée très efficace chez une clientèle sédentaire (Perry et al., 2005) et n'a jamais été testée à notre connaissance chez une clientèle symptomatique. Notre hypothèse est que si les sujets ayant subi un traumatisme crânien s'entraînent avec un apport supplémentaire en oxygène, ils pourront plus facilement atteindre un seuil de performance de 80-85% de la fréquence cardiaque maximale, ils amélioreront leur capacité aérobique et soutiendront une charge de travail plus importante. Cette augmentation de performance devrait entraîner une diminution de la fatigue qualitative et quantitative et améliorer leur performance à la marche. Cette approche est très novatrice et très prometteuse pour les personnes ayant subi un traumatisme crânio-cérébral (TCC). La fatigue chez les personnes TCC compromet sérieusement les réponses aux différentes interventions dispensées en réadaptation et si un entraînement aérobique amélioré peut augmenter la résistance et l'endurance des sujets à l'étude, les bénéfices peuvent être multidimensionnels.

1.1 Objectifs

Dans le projet de recherche, nous avons tenté de répondre à plusieurs questionnements. Est-ce qu'un apport d'oxygène favorise l'atteinte d'une intensité d'entraînement correspondant à 80-85 % de la fréquence cardiaque max (FCmax) chez des sujets présentant un traumatisme crânien modéré/sévère? Conjointement aux bénéfices physiologiques inhérents à l'entraînement de type aérobie, cet apport supplémentaire en oxygène peut-il permettre à cette clientèle d'augmenter sa puissance de travail (watts), de diminuer sa fatigabilité et d'être plus performant à la marche?

L'objectif principal englobant la recherche est de permettre à des individus présentant un TCC d'augmenter leur puissance de travail par l'ajout d'oxygène au cours de l'entraînement aérobie et de mener à une diminution de leur fatigabilité.

1.2 Hypothèse de recherche

Dans l'optique d'augmenter la puissance de travail et de diminuer la fatigabilité des personnes ayant subi un TCC, ce projet consiste en l'élaboration d'un protocole d'entraînement aérobie de type «intervalles» avec un apport supplémentaire en oxygène auquel est soumis une clientèle ayant subi un TCC. L'hypothèse se définit comme suit: L'entraînement aérobie avec intervalles additionné d'un apport en oxygène permet à une clientèle ayant subi un traumatisme crânien modéré/sévère d'augmenter leur puissance de travail menant à une diminution de la fatigabilité.

1.3 Importance

L'importance de cette étude est d'abord et avant tout d'améliorer la qualité de vie des personnes ayant subi un traumatisme crânien en augmentant leur capacité à soutenir un effort en diminuant leur fatigabilité. Les résultats de cette étude contribueront à établir les composantes optimales d'un programme d'entraînement aérobie efficace auprès de cette clientèle particulière.

1.4 Limites

Les attentes du chercheur

Les chercheurs pourraient avoir tendance à sélectionner les sujets qu'ils jugent les plus aptes à l'expérimentation. Afin de contrôler cette limite, ce sont les éducateurs physiques du centre de réadaptation Lucie-Bruneau qui ont sélectionnés les sujets sur la base des critères d'inclusion et d'exclusion explicités en page 13. De plus, au cours de l'entraînement, l'expérimentatrice a encouragé l'individu à poursuivre son entraînement et l'a effectué à une quantité et une intensité similaire pour tous les sujets.

La récupération des sujets

Dans le présent contexte, le phénomène de récupération peut s'apparenter à la maturation. En effet, la clientèle TCC est sujette à une récupération spontanée, s'étendant dans le temps, pouvant interférer avec les effets de l'entraînement proposé. Il est toutefois difficile d'anticiper cette récupération puisqu'elle diffère pour chaque individu.

Les facteurs historiques

Le niveau de conditionnement physique et les antécédents en activités physiques des sujets avant le trauma pourraient influencer l'importance des adaptations physiologiques et la latence d'apparition de ces adaptations.

La perte ou l'abandon des sujets

C'est sans doute la limite à laquelle nous avons porté la plus grande attention étant donné la taille de notre échantillonnage, les aspects psychologiques et comportementaux imprévisibles caractérisant les personnes ayant subi un TCC ainsi que la précarité de l'état de santé de cette clientèle. Nous avons maintenu le niveau de motivation de nos sujets à son maximum d'où l'importance de fournir des feedbacks au cours de l'entraînement.

La contamination inter variable

Il est important de tenir compte des autres activités du programme de réadaptation pouvant affectées les variables dépendantes à l'étude étant la puissance de travail, la fatigabilité, la consommation d'oxygène et la capacité fonctionnelle à la marche. Puisque les sujets à l'étude étaient tous en cours de réadaptation, ils recevaient les services de plusieurs professionnels. Nous ne pouvions que composer avec cette réalité.

CHAPITRE II

REVUE DE LA LITTÉRATURE

2.1 Portrait de la clientèle traumatisée crânio-cérébrale (TCC)

En terme d'incidence ou de prévalence, il existe peu d'études statistiques canadiennes ou québécoises récentes sur la problématique du TCC. La statistique québécoise la plus souvent citée est celle provenant du rapport Riley, déposé en 1993 par le ministère de la santé et des services sociaux (MSSS). Ce rapport fait état d'une moyenne de 5000 cas d'hospitalisation par an suite à un TCC sévère pour les années 1988 à 1992. À l'échelle canadienne, Wong et collaborateurs (1993) citent une moyenne de 40 000 individus hospitalisés par année avec un diagnostic de lésion intracérébrale ou d'une fracture du crâne. Mentionnons que dans ces statistiques canadiennes et québécoises, les décès et les TCC légers sont exclus biaisant ainsi la réelle problématique du TCC au Québec et au Canada (Gadoury, 1999). Aux États-Unis, les statistiques disponibles aux Centers for Disease Control and Prevention (1999) pour la période de 1989 à 1998 sont davantage représentatives de la réelle incidence des traumatismes crâniens. Ces statistiques font mention de 1.5 million de personnes subissant un traumatisme crânien par an dont 50 000 décèdent (McLean et al., 2002).

Les personnes subissant un traumatisme crânien sont majoritairement de jeunes adultes âgés entre 15 et 24 ans principalement dans un contexte d'accident impliquant un véhicule motorisé ainsi que les personnes âgées de 75 ans et plus en conséquence d'une chute (McLean et al., 2002). Parmi les causes principales, notons les accidents de voitures responsables de près de 40% des cas graves. Les autres causes principales sont les sports impliquant des impacts à grande vitesse (le soccer, le hockey et le football), les chutes et les assauts (Gadoury, 1999).

Le TCC se divise en quatre groupes selon l'importance de la gravité de la lésion cérébrale; le TCC mineur, léger, modéré et sévère (Gadoury, 1999). La gravité de la lésion est influencée par les circonstances de la blessure autant dans un contexte d'accident de la

route que pour tout autre incident. Dans tous les cas, il faut considérer la force de l'impact, le site de l'impact, la vitesse, le véhicule (s'il y a lieu), les facteurs de collision, la présence ou non de signes focaux au scanner ou à l'imagerie par résonance magnétique (IRM), la durée du coma ou de la perte de conscience (scores à l'échelle de Glasgow), l'existence ou non d'une amnésie post-traumatique (APT), les céphalées, les nausées, la confusion, l'atteinte des fonctions mentales supérieures lors de l'évaluation précoce et les signes et symptômes observables chez l'individu (Gadoury, 1999). Parmi tous ces outils diagnostiques, l'échelle de Glasgow, échelle de perte de conscience et de coma, est l'outil le plus souvent utilisé pour catégoriser le niveau d'atteinte des patients (Clifton et al., 1993).

2.2 Le TCC: une pathologie complexe

2.2.1 Variabilité de la clientèle

La population TCC est d'une grande complexité. Cette complexité se traduit au niveau de l'extrême diversité des symptômes pouvant être d'ordre neurologiques, psychologiques, respiratoires, métaboliques, musculosquelettiques (musculaire ou contrôle musculaire), cognitifs et comportementaux (Gadoury, 1999; Siesjö, 1993; Vitale et al., 1995). C'est une clientèle qui présente une grande variabilité, il n'y a pas deux sujets TCC identiques. Mentionnons que les symptômes sont d'importants déterminants dans l'élaboration d'un programme de réadaptation individualisé, peu importe le professionnel intervenant avec le client ayant subi un traumatisme crânien.

La clientèle est complexe parce que le traumatisme en lui-même l'est aussi. Chaque traumatisme est unique et les multiples expérimentations sur des modèles animaux n'ont d'ailleurs pas encore été en mesure d'induire des lésions comparables à ce qui est observé chez l'humain (Meythaler et al., 2001). L'accident de voiture par exemple, implique une grande accélération et décélération qui soumettent les neurones et autres cellules nerveuses à des forces inertielles importantes, influençant les propriétés viscoélastiques des neurones induisant ce qu'on appelle un dommage axonal diffus, une blessure microscopique

habituellement non détectable à l'IRM (Meythaler et al., 2001; Gadoury, 1999; McLean et al., 2002). Dépendamment du type d'impact et des diverses conditions entourant le traumatisme, la rupture d'artères et de vaisseaux sanguins, l'application de forces de rotation, de torsion ou un impact de type coup/contrecoup peuvent survenir et alourdir le trauma (Gadoury, 1999; Unterberg et al., 2004; McLean et al., 2002). Dans ces conditions, la présence d'hémorragies, d'oedèmes, d'une ischémie ou d'une hypoxie va engendrer une cascade de réactions biochimiques et neurophysiologiques complexes de destruction et de mort des neurones plongeant le cerveau dans une profonde crise métabolique (Bo K Siesjö, 1993; Meythaler et al., 2001, Unterberg et al, 2004). Parmi ces divers mécanismes notons les principaux soient la présence de facteurs précipitants comme l'ischémie et l'hypoglycémie menant à une panne énergétique qui se caractérise par une diminution de la production d'ATP (adénosine triphosphate), le déséquilibre calcique produisant des radicaux libres responsables de l'acidose des tissus et le dysfonctionnement des micro-vaisseaux sanguins cérébraux créant en outre une augmentation de la perméabilité de la barrière hématoencéphalique et une diminution du débit sanguin cérébral (Siesjö, 1993).

2.2.2 Fatigabilité

Malgré cette grande variabilité de mécanismes neurophysiologiques et de symptômes qui diffèrent chez chacun des individus, il existe un symptôme communément observable chez la clientèle TCC; la fatigabilité. C'est le symptôme le plus courant peu importe le degré de l'atteinte neurologique (Lachapelle et Finlayson, 1998; Fisk et al., 1994; Borgaro et al., 2004; Belmont et al., 2006). Le concept de la fatigabilité peut être défini de façon plutôt large selon le contexte et selon les individus. Il est important de faire une distinction entre la fatigue uniquement physiologique (musculaire) et la fatigabilité prise dans un contexte général. La fatigabilité revêt plusieurs dimensions. Smith et al. (1995) ont proposé une définition où se rassemblent les dimensions généralisées, physiques et mentales de la fatigue (Borgaro et al., 2004). D'autres auteurs vont dans le même sens en ajoutant cette fois les concepts de réduction du niveau d'activités, la diminution de la motivation et la sensation de lassitude (Borgaro et al., 2004; White et Dressendorfer, 2004). D'un point de vue fonctionnel, le concept de fatigabilité que nous utiliserons est celui élaborée par Aaronson et al. (1999),

étant la diminution consciente des capacités lors d'activités physiques et/ou mentales, occasionnée par un déséquilibre de la disponibilité, de l'utilisation et la récupération des ressources physiologiques ou psychologiques requises pour la réalisation d'une tâche.

La fatigabilité est unanimement citée comme étant un symptôme prédominant par les professionnels (kinésologue, neuropsychologue, ergothérapeute, physiothérapeute) en réadaptation intervenant auprès de cette clientèle et qui ont été rencontrés dans le cadre du projet. C'est également le symptôme rapporté le plus fréquemment chez les sujets souffrant d'une variété de désordres neurologiques (Lachapelle et Finlayson., 1998; Fisk et al, 1994; Borgaro et al., 2004). De plus, la fatigue est reconnue comme étant l'un des trois symptômes les plus courants du syndrome post-commotionnel (Middelboe et Anderson, 1992 dans Lachapelle et Finlayson, 1998). D'un point de vue fonctionnel, la fatigabilité est extrêmement incapacitante. Elle nuit à l'indépendance fonctionnelle de l'individu TCC à bien des niveaux. Elle interfère dans la réalisation des tâches quotidiennes tant motrices que cognitives. D'un point de vue social et comportemental, la fatigabilité nuit à la qualité de vie et à l'intégration sociale (Gordon et al., 1998; Burleigh et al., 1997 ; Mazaux et al., 1997). Sous un angle cognitif, Azouvi et al. (2004) indiquent que la fatigue serait la conséquence d'une surcharge des efforts à fournir pour compenser les limitations cognitives. Ces chercheurs ont évalué la perception subjective de l'effort mental chez des sujets TCC suite à différentes tâches cognitives. La perception de l'effort mental est systématiquement plus élevée chez le groupe TCC que pour le groupe contrôle. Cette perception est également plus élevée lors d'une tâche duelle comparativement à une tâche simple. L'augmentation de l'effort mental à fournir pourrait expliquer l'augmentation de la fatigue perçue des sujets TCC. Selon van Zomeren et al.(1984), la fatigue serait due aux effort constants de compensation étant nécessaires à l'accomplissement des tâches de la vie quotidienne. Comme la demande psychologique et physiologique est plus élevée, elle est vécue subjectivement comme une sensation de fatigue, interférant ainsi dans l'exécution de différents types de tâche.

Dans le milieu de la réadaptation, la fatigabilité est gérée de différentes façons, selon le type de professionnel qui intervient avec le sujet ayant subi un TCC. Il peut s'agir d'une intervention dans l'optique de simplifier les tâches à la maison ou au travail, d'intégrer des

stratégies de gestion de fatigue, de régulariser le sommeil, d'intervenir en psychologie, en relaxation, en gestion de stress et par l'accompagnement dans des groupes de support (White et Dressendorfer, 2004). L'établissement d'un programme d'exercice physique fait partie des interventions possibles pour diminuer la fatigabilité. Toutefois, les personnes qui ont subi un TCC ont une tolérance très diminuée à l'effort, en raison d'une part de l'inactivité induite par l'hospitalisation (modification de l'activité musculaire, réduction de la capacité aérobie, réponse cardiaque plus élevée à l'exercice, diminution de la capacité pulmonaire, etc.) et d'autre part par les séquelles liées au traumatisme telles la fatigabilité et les déficits moteurs (Bateman et al., 2001; Gordon et al., 1998). La diminution de la fatigabilité permettrait aux individus ayant subi un TCC d'être davantage réceptifs au contexte de réadaptation et aux interventions multidisciplinaires. En effet, étant moins fatigables, les sujets peuvent se soumettre aux activités de la réadaptation sur une période plus longue et à une intensité plus élevée. Ils en retirent ainsi les bénéfices réels escomptés.

L'une des premières interventions à effectuer auprès de cette clientèle impliquerait d'abord et avant tout une remise en forme physique. La diminution de la fatigabilité devient un préalable au succès du programme de réadaptation. Considérant l'impact d'un entraînement aérobie ainsi que la pertinence de son implantation dans un contexte de réadaptation avec des sujets ayant subi un traumatisme crânien, c'est l'intervention qui sera préconisée dans le cadre de la présente recherche.

2.3 Les effets de l'exercice suite à un traumatisme crânien

2.3.1 Modèles animaux

Bien que difficilement complètement comparable à la réalité du cerveau humain, l'étude du modèle animal TCC permet d'émettre certaines hypothèses quant à l'impact de l'exercice sur la récupération du cerveau. Ces études animales ont permis d'évaluer les effets de l'exercice physique chez des rats à qui on a induit un traumatisme crânien. L'exercice physique consistait pour le rat à courir dans une roue librement. Suite à l'exercice, les

chercheurs ont dénoté une amélioration de la performance motrice (aspect locomoteur) des rats dans leur roue d'entraînement. Toutefois, les effets aérobie (consommation d'oxygène, efficacité respiratoire, etc.) de l'exercice n'ont pas été évalués. Les effets sur la performance sont davantage attribués à une amélioration de la capacité motrice ou locomotrice, par l'exercice (Will et al., 2004). Les effets de l'exercice (possibilité d'activité motrice) sur le modèle du rat TCC sont beaucoup plus limités que ceux d'un environnement enrichi (possibilité d'activité motrice et de stimulations sociales) ou de l'interaction sociale (présence d'autres rats). Johansson et Ohlsson (1996) ont comparé la récupération motrice des rats après une lésion cérébrale et ont démontré que les rats dans un contexte d'interactions sociales avaient des performances motrices supérieures à ceux qui avaient seulement accès à la roue. L'amélioration de la performance était encore plus notable chez les rats placés dans un environnement enrichi. Chez l'animal sain, des évidences suggèrent que l'exercice peut avoir des effets neurologiques directs comme l'augmentation de la disponibilité du «*brain-derived neurotrophic factor*» (BDNF), un facteur de croissance qui supporte les fonctions et la survie des neurones (Gordon et al., 1998). Les auteurs de cette dernière étude spéculent que la disponibilité de BDNF pourrait prévenir la dégénérescence des cellules nerveuses du cerveau, et ainsi augmenter la plasticité du cerveau. Ces recherches suggèrent un effet positif de l'exercice sur le soutien structurel des fonctions cognitives (Gordon et al., 1998).

2.3.2 Effets de l'entraînement aérobie chez une clientèle ayant subi un traumatisme crânien (TCC)

Plusieurs études ont démontré que les individus ayant subi un TCC ont une capacité aérobie sous la normale ainsi qu'une faible tolérance à l'effort (Bateman et al., 2001; Jankowski et Sullivan, 1990; Bhambhani et al., 2005; Gordon et al., 1998; Hunter et al., 1990). Un long coma ou une immobilisation causée par une intervention chirurgicale expliquent en partie ces modifications de la capacité aérobie (Vitale et al., 1995). En plus de la diminution de la capacité aérobie, l'inactivité induit une fatigue rapide affectant le processus de réadaptation. Une des alternatives possible pour limiter les effets de l'inactivité et des séquelles liées au traumatisme crânien est d'offrir aux patients l'opportunité de faire de l'activité physique. Quelques études se sont intéressées aux effets d'un programme

d'entraînement chez la clientèle TCC. Ces études démontrent que les personnes TCC répondent bien à un entraînement aérobic. Les résultats obtenus jusqu'à présent montrent que cette clientèle bénéficie des adaptations physiologiques liées à l'entraînement de type aérobic telles l'augmentation de la consommation d'oxygène, une amélioration de l'efficacité respiratoire à l'exercice, une diminution de la fréquence cardiaque au repos et une diminution de la fatigue musculaire (Jankowski et Sullivan, 1990; Hunter et al., 1990; Bateman et al., 2001; Bhambhani et al., 2005). Toutefois, ces bénéfices ne semblent pas engendrer de gains réels au niveau comportemental ni conduire à une amélioration de l'indépendance fonctionnelle du patient (Bateman et al., 2001; Jankowski et Sullivan, 1990).

2.3.3 Effets de l'entraînement sur les habiletés fonctionnelles

Dans l'étude de Bateman et al. (2001), les sujets devaient pédaler 30 minutes à une intensité d'entraînement se situant entre 60% et 80% de la FC maximale prédite selon l'âge, pour une durée de 12 semaines, 3 fois par semaine. Dans l'étude de Jankowski et Sullivan (1990), l'entraînement des sujets était composé d'un échauffement, 45 minutes d'exercices neuromusculaires, 45 minutes d'un exercice de type aérobic à une intensité de 70% de la FC maximale selon l'âge (course, vélo, stair master), puis un retour au calme. Le protocole d'entraînement était d'une durée de 12 semaines, 3 fois par semaine. Dans les deux études, il a été démontré que l'entraînement cardiovasculaire chez les sujets TCC ne modifiait pas les indices fonctionnels mesurés. Ces indices étaient les aspects physiques et psychologiques de la fatigue (développée par Chalder et al., 1993), l'HADS (The Hospital Anxiety and Depression Scale). Également, aucun changement n'a été dénoté quant à l'habileté à la marche (vitesse de marche calculée sur 10 mètres à l'intérieur) ni au niveau de l'indépendance fonctionnelle et de la mobilité des sujets suite à l'exercice (Barthel index mesurant l'habileté dans des tâches de la vie quotidienne, Rivermead Mobility Index évaluant la mobilité et le NEADLI mesurant l'habileté dans des tâches fonctionnelles). Dans l'étude de Bateman, une différence de la capacité à l'effort a été observée entre le groupe s'étant entraîné et celui ne s'étant pas entraîné. Cette augmentation du niveau de travail serait davantage liée à une plus grande force musculaire au niveau des jambes, une amélioration cardiovasculaire et une meilleure habileté à l'action de pédaler (habileté motrice). Jankowski

et Sullivan (1990) rapportent des résultats similaires puisque les sujets de l'étude ont augmenté leur capacité aérobie (VO_2 max) de façon significative suite à l'entraînement sans toutefois améliorer leur efficacité ambulatoire (locomotion) déterminée par la consommation d'oxygène lors d'un test de marche de 3mph (80 mètres par minutes).

Les sujets avec un traumatisme crânien ne semblent pas réagir de la même manière suite à un entraînement aérobie, s'expliquant sans doute par des mécanismes compensatoires différents ou par une latence d'adaptation plus importante.

2.3.4 Limite du rendement physiologique chez une clientèle TCC

Des recherches démontrent qu'il est difficile au cours de l'entraînement d'amener des patients TCC à un niveau de rendement physiologique qui soit équivalent à ceux d'adultes sains dans le même contexte (Hunter et al., 1990; Jankowski et Sullivan, 1990). En effet, la plupart des sujets TCC n'atteignent pas ou difficilement une intensité de 70 % de la VO_2 max ou une fréquence cardiaque cible minimale de 150 battements par minute (Jankowski et Sullivan, 1990). Toutefois, selon l'ACSM, afin d'améliorer la consommation d'oxygène, l'intensité de l'exercice doit se situer entre 60% et 85% (ACSM, 2006). Étonnamment, la majorité des études effectuées auprès de la clientèle TCC, utilise un protocole d'entraînement aérobie où l'intensité préconisée n'est que de 60% (Hunter et al., 1990; Jankowski et Sullivan, 1990). Il faut alors allonger les séances ou la durée du programme d'entraînement pour espérer atteindre les mêmes objectifs qu'avec une clientèle saine (Jankowski et Sullivan, 1990; Bhambhani et al., 2005). Comme la fatigabilité est présente dans la majorité des cas de TCC, prolonger la durée des séances pour augmenter l'intensité de travail s'avère très difficile, voir impossible.

2.3.5 Oxygénothérapie

Une alternative possible qui n'a jamais été testée, à notre connaissance, avec des patients traumatisés crâniens est de pallier ces contraintes par un apport d'oxygène (oxygénothérapie) au cours de l'entraînement. Il est d'une part bien établi que d'inspirer un gaz hyperoxique ($>20,9\% O_2$) à l'exercice permet à l'individu qui s'y soumet de fournir un

travail plus élevé pour une fréquence cardiaque donnée (Wilson et Welch, 1975; Plet et al., 1992). Le sujet peut également performer sur une plus longue période de temps. Également, plus le pourcentage d'oxygène inspiré augmente, plus l'endurance à l'exercice augmente (Wilson et Welch, 1975; Plet et al., 1992). Dans ces études, l'apport d'oxygène s'est fait dans le contexte d'un exercice cardiovasculaire ponctuel. Une étude récente de Perry (2005) a permis d'établir les effets de l'hyperoxie mais cette fois dans un contexte d'entraînement aérobie sur plusieurs semaines. Cette étude a démontré que l'apport d'oxygène au cours d'un entraînement de 6 semaines chez une population adulte saine sédentaire a permis d'augmenter de façon significative la capacité de travail de 8.1% comparativement à un même entraînement sans cet apport supplémentaire en oxygène (Perry et al., 2005). Suite à l'entraînement en hyperoxie, cette étude a démontré que pour une fréquence cardiaque donnée, le travail développé était plus élevé. En hyperoxie (60% O₂ inspiré à partir d'un circuit fermé), les sujets sont en mesure de s'entraîner à une intensité de travail qu'ils ne pourraient atteindre en normoxie (20,9% O₂ inspiré à partir d'un circuit fermé). Les résultats de cette étude indiquent que d'une part, les sujets s'entraînant en hyperoxie ont augmenté leur capacité de travail de façon significativement plus élevée que dans la condition normoxique mais que d'autre part, l'amélioration de la consommation d'oxygène maximale (VO₂ max) est équivalente peu importe le mélange gazeux inspiré (20,9 ou 60% O₂). Les auteurs émettent l'hypothèse que l'amélioration de la performance serait due à d'autres facteurs centraux ou périphériques.

Perry et ses collègues (2005) proposent également d'utiliser l'oxygénothérapie avec des athlètes d'élite. L'apport d'oxygène pourrait permettre à ces athlètes d'augmenter leur charge de travail et ainsi contrer l'effet de plateau d'intensité d'entraînement fréquemment observé. Ce phénomène de plateau chez les athlètes pourrait être comparé à ce qui est observé chez la clientèle TCC. En effet, comme mentionné précédemment, les sujets TCC atteignent difficilement une intensité au dessus de 70% de la VO₂ max. L'ajout d'oxygène avec cette clientèle, permettrait alors d'augmenter l'intensité de travail sans soumettre l'individu à une charge d'entraînement qu'il ne peut assumer en raison de sa fatigabilité. L'ajout d'oxygène serait alors un moyen simple et novateur d'optimiser les effets de l'entraînement de type

aérobie et de contrer l'effet de plateau chez une clientèle ayant une faible capacité aérobie, une tolérance à l'effort moindre et étant très fatigable.

CHAPITRE III

MÉTHODOLOGIE

3.1 Les sujets

3.1.1 Recrutement

Quatorze sujets traumatisés crâniens ont été recrutés sur une base volontaire au Centre de Réadaptation Lucie-Bruneau (CRLB). Douze d'entre eux ont complété la totalité du programme d'entraînement. L'analyse statistique a donc été effectuée avec les données relatives à ces douze sujets. Un tableau des caractéristiques des sujets est présenté en annexe 1. Le nombre de sujet a été déterminé grâce à un test de puissance statistique en se basant sur les résultats de consommation d'oxygène (VO_2) de l'étude de Bateman et al.(2001) effectuée auprès de sujets ayant subi un traumatisme crânien (SigmaStat, version 2.05, Jandel). Nous avons réalisé notre projet de recherche au Centre de Réadaptation Lucie-Bruneau parce que cet établissement accueille des personnes ayant subi un traumatisme crânien. L'expertise en activité physique au CRLB est excellente et notre recherche se veut un complément de cette expertise. Pour le bénéfice de la recherche nous avons eu besoin de la collaboration des éducateurs physiques afin de sélectionner les clients qui étaient les plus susceptibles de suivre un programme d'entraînement de 12 semaines. La participation au projet de recherche a uniquement été proposée à ces clients.

3.1.2 Critères d'inclusion

Les sujets sélectionnés avaient tous subi un traumatisme crânien de type modéré/sévère. Le degré d'atteinte cérébral étant déterminé par le score à l'échelle de Glasgow (entre 4 et 15) indiqué dans le dossier médical de chacun des sujets. Le TCC modéré/sévère se caractérise par une plus grande stabilité comparativement au TCC léger. Toutefois, selon l'expertise des éducateurs physiques impliqués, deux sujets TCC légers ont été inclus dans le projet de recherche puisqu'ils vivaient une problématique de fatigue comparable à ce qui est observé chez les TCC modérés/sévères. Les sujets devaient être en mesure d'utiliser un ergocycle, en terme d'équilibre et de locomotion. Ainsi, aucun des sujets

sélectionnés ne présentaient d'atteintes motrices comme une hémiparésie ou des troubles majeures de la coordination.

3.1.3 Critères d'exclusion

Les sujets étaient exclus s'ils présentaient des déficits visuels et auditifs majeurs, des déficits cognitifs nuisant à la compréhension des consignes, une dysarthrie (problème d'élocution majeur), s'ils prenaient une médication ayant un impact sur le rythme cardiaque. De plus, les sujets ne devaient pas avoir d'antécédents de maladies cardiovasculaires ou tout autres facteurs de comorbidités. Ces éléments compromettent la réalisation du protocole d'entraînement et pourraient également entraver la prise des diverses mesures subjectives et neuropsychologiques de la fatigabilité auxquelles ils devaient se soumettre.

3.2 Protocole expérimental

Les quatorze sujets ont été répartis aléatoirement à l'un des deux protocoles expérimentaux suivants : Protocole A) Entraînement aérobie avec apport supplémentaire de 100% d'oxygène (pourcentage d'oxygène inspirée, FIO₂ : ~38%), Protocole B) Entraînement aérobie avec air médical (pourcentage d'oxygène inspirée, FIO₂ : ~20,9 %). Le pourcentage de 38 % est le pourcentage d'oxygène maximal qui peut être distribué via une canule nasale. Le pourcentage de 20,9% est la proportion d'oxygène existante dans l'air ambiant. Les sujets ne connaissaient pas la nature du mélange gazeux qui leur a été administré. Dans les deux conditions, l'oxygène ou l'air fut administré via des canules nasales (McGaw Park, IL, USA) à un débit de 5 litres par minute.

L'entraînement aérobie était d'une durée de 12 semaines, à raison de 2 séances par semaine sur ergocycle (Excalibur Quinton, Groningen, The Netherlands). Bien que la fréquence d'entraînement idéale soit de 3 séances par semaine, nous avons dû opter pour 2 séances par semaine pour 3 raisons : premièrement, j'étais la seule personne à effectuer tous les entraînements (14 sujets, 2 fois par semaines équivalant à 28 séances par semaine), nous disposions que de 4 jours par semaine puisque pour la journée du vendredi, le taux

d'absentéisme est très élevé, et finalement, la disponibilité des sujets était restreinte étant donnée l'horaire de réadaptation chargé. Tous les sujets ($n=14$) ont réalisé un entraînement aérobie avec intervalles. Chaque séance d'une durée de 25 minutes était composée de 6 intervalles variant de 2,5 minutes à 5 minutes, où les intensités d'entraînement variaient entre 60% et 85% de la FCmax estimée selon l'âge ($220-l'âge$). La figure suivante schématise les différentes intensités d'intervalles qui ont été imposées lors des entraînements ainsi que leur durée respective.

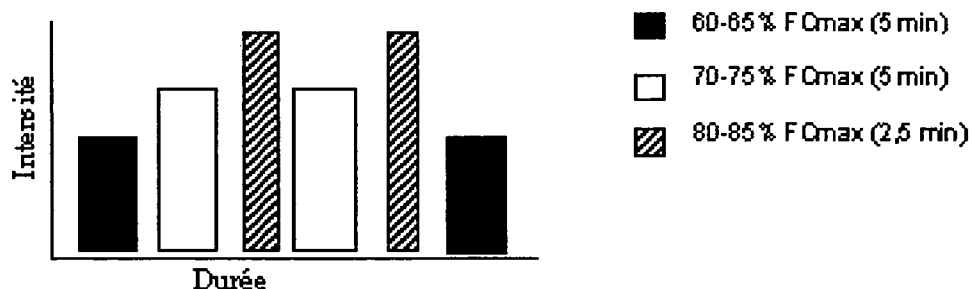


Figure 1 Intervalles d'intensités d'entraînement

L'intensité de l'entraînement était atteinte par l'augmentation progressive de la puissance requise. Une vitesse était imposée et se situait entre 50 et 80 rpm, selon la condition physique de chacun des sujets. Comme la charge est indépendante de la vitesse elle est ajustée par l'expérimentateur. La charge était ajustée à chaque séance afin de maintenir la FC cible, et ce, à chacune des intervalles.

3.3 Supervisions des sujets

Pour la totalité du protocole, je fus la personne responsable de la supervision des sujets lors des entraînements. Je fus accompagné à quelques reprises de stagiaires de premier cycle, mais je fus présente en tout temps. Mon rôle était d'installer les sujets sur le vélo, de manipuler les bombonnes et les canules nasales, d'ajuster la charge d'entraînement (watts) en fonction de l'atteinte de la FC cible à chacun des intervalles et de prendre les rendez-vous des entraînements selon les horaires de chacun. Les entraînements étaient effectués 1 sujet à la fois, mais le matériel expérimental (bicyclette stationnaire, bombonnes, etc..) se trouvait dans la salle de conditionnement physique. Cet environnement dynamique assurait en partie la

motivation des sujets à la poursuite de leur entraînement. Bien que je connaissais la nature du gaz inspiré par les sujets, j'ai fourni des encouragements en quantité et intensité similaire pour tous les sujets, sans distinction de leur assignement expérimental.

3.4 Mesures expérimentales

Deux types de mesures ont été pris ; des mesures physiologiques et des mesures de la fatigabilité. Ces différentes mesures furent prises 3 fois au cours du protocole soit au début, après 6 semaines et à la fin du programme d'entraînement.

3.4.1 Mesures physiologiques à l'effort

La mesure de la consommation d'oxygène maximale (VO_{2max}) a été extrapolée à partir des résultats obtenus suite à un test à l'effort sous-maximal direct (Astrand modifié jusqu'à 85% de la FC_{max} prédite selon l'âge (Heyward, 2002)) sur ergocycle (MIJNHARDT, REM-3, Hollande). Par la méthode d'extrapolation, la marge d'erreur de prédiction de la $VO_2 max$ est de $\pm 10\%$ et $\pm 15\%$ chez des personnes entraînées et non entraînées, respectivement (Heyward, 2002). (L'utilisation de l'appareil portatif K4b2 (Cosmed, Rome, Italie) nous a permis de prendre des mesures directes de la consommation d'oxygène et de la fréquence cardiaque dans le milieu d'intervention. Un cardiofréquencemètre (Polar 610, Vantaa, Finlande) a été installé sur chacun des sujets durant chacune des séances d'entraînement afin de suivre l'évolution du rythme cardiaque. Cette donnée nous a permis d'ajuster la charge afin de tendre vers la fréquence cardiaque cible correspondant à chacune des intervalles.

3.4.2 Mesure de la puissance de travail

À chacune des intervalles, la charge nécessaire à l'atteinte de la FC cible a été enregistrée. La charge développée à la 3^e intervalle (80-85% FC_{max}) fut notre indicateur de la capacité de travail.

3.4.3 Mesure de la fatigabilité

Afin d'obtenir des mesures du niveau de fatigabilité des sujets, une échelle de fatigue subjective ainsi que des mesures quantitatives de la fatigue ont été utilisées. L'échelle de fatigue du Barrow Neurological Institute (*BNI*) est un questionnaire comportant 11 énoncés (Borgaro et al., 2004). Les sujets ont eu à évaluer le niveau de difficulté perçu depuis leur accident pour chacun des énoncés, à l'aide d'une échelle de 7 points (voir annexe 2) (Les points 0-1 (rarement un problème), 2-3 (un problème occasionnel mais pas fréquent), 4-5 (fréquemment un problème) et 6-7 (un problème la plupart du temps)) (Borgaro et al., 2004). Le 11^e énoncé se distingue des précédents puisqu'il demande au sujet d'évaluer la perception générale de leur fatigue depuis leur accident sur une échelle de 0 (pas de problème) à 10 (un problème sévère). L'échelle de fatigue *BNI* a été retenue en raison de sa vitesse d'exécution, la simplicité et la généralité de ses énoncés ainsi que le coefficient de fiabilité élevé malgré l'hétérogénéité des sujets (Borgaro et al., 2004).

Pour les données quantitatives, 3 tests neuropsychologiques (voir annexe 3) tirés de la batterie de tests D-KEFS ont été utilisés (Delis, Kaplan et Kramer, 2001). La plupart des tests ont été développés à la fin des années 80 et début 90 et la totalité des tests a été rassemblée en 1994. Ces tests sont couramment utilisés par les neuropsychologues pour l'évaluation des individus avec un traumatisme crânien. Ils nous ont été conseillés par les intervenants du centre de réadaptation où a eu lieu l'expérimentation. Les 3 tests qui seront explicités subséquentment présentent un aspect commun celui d'une condition de base suivie d'une condition test où la demande cognitive est supérieure. Chez les sujets TCC, plus la demande psychologique et physiologique est élevée, plus elle est vécue comme une sensation de fatigue, interférant ainsi dans l'exécution de différents types de tâche (Azouvi et al., 2004). Nous émettons alors l'hypothèse que la fatigue n'interférera pas sur les mécanismes nécessaires à l'exécution de la condition de base. Par contre, dans la condition test où l'on ajoute une contrainte chargeant ainsi la demande cognitive, la fatigabilité aurait une incidence sur la performance.

Un premier test, le *D-KEFS Verbal Fluency Test*, est une mesure de la fluidité verbale. Ce test est composé de 2 parties: catégories simple et catégories alternées. Dans la condition catégorie (condition de base) le sujet doit énoncer le plus de mots appartenant à une catégorie sémantique que l'on spécifie (légumes et prénoms), le plus rapidement possible sur 2 essais de 60 secondes chacun. Dans la partie catégories alternées (condition test) le sujet doit énoncer le plus de mots provenant de 2 catégories sémantiques différentes, en les alternant et ce le plus rapidement possible sur deux essais de 60 secondes chacun (pays/fruits et partie du corps/animal).

Un deuxième test, le *D-KEFS Design Fluency Test*, permet d'évaluer la facilité à créer des dessins différents à l'aide de traits. Le test est composé de 3 conditions: points noirs, points blancs seulement et la condition alternée. Pour chacune des conditions, on présente au sujet des rangées de cases contenant des points que les sujets doivent relier en utilisant seulement 4 lignes et en produisant des dessins différents. Pour la condition points noirs (condition de base 1), chaque case est composée uniquement de points noirs et le sujet doit former le plus de dessins possibles en 60 secondes en reliant les points. Dans la condition points blancs seulement (condition de base 2), chaque case contient 5 points blancs et 5 points noirs. Le sujet ne doit relier que les points blancs ensemble, également en 60 secondes. Dans cette condition, on évalue l'habileté du patient à inhiber une réponse (étant la liaison des points noirs). Dans la condition alternée (condition test), on présente au sujet des cases avec des points noirs et des points blancs. Dans cette condition, les sujets doivent former des dessins en alternant points blancs et points noirs démontrant ainsi une flexibilité cognitive, c'est-à-dire la capacité à répondre en alternant les règles sous-jacentes aux différentes modalités de réponses.

Un dernier test, le *D-KEFS Trail Making Test*, consiste à relier le plus rapidement possible, selon la consigne, des chiffres ou des lettres (conditions de base) ou à les alterner (condition test). La durée globale des tests neuropsychologiques est de 45 minutes.

3.4.4 Mesure de la capacité fonctionnelle à la marche

Afin d'évaluer la capacité fonctionnelle à la marche des sujets, nous avons utilisé le test de marche de 6 minutes (Guyatt et al., 1985). La consigne donnée aux sujets était de parcourir la plus grande distance possible en 6 minutes, sur une distance de 30 mètres délimitée par des cônes. Le sujet devait exécuter des allers-retours jusqu'à ce que l'expérimentateur lui dise d'arrêter. L'expérimentatrice était positionnée à mi-distance (15 mètres) et donnait un encouragement verbal au sujet à chaque passage. Le test de marche de 6 minutes ne permet pas d'évaluer la consommation d'oxygène mais est plutôt un indicateur de l'habileté fonctionnelle du patient dans ses activités de la vie quotidienne (Capro et al., 2002). Le test de marche de 6 minutes est utilisé avec plusieurs types de clientèle et de limitations fonctionnelles [personnes TCC, personnes âgées, accident vasculaire cérébrale (AVC), maladies cardiovasculaires, maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC)], afin de mesurer leur capacité fonctionnelle (Capro et al., 2002; Enright et al., 2003; Van loo et al., 2004).

3.4.5 Matériel expérimental

L'entraînement aérobie s'est effectué sur ergocycle (Excalibur Quinton, Groningen, The Netherlands) et le système d'apport d'air aux sujets était comparable pour tous les sujets. Ce système est constitué de canules nasales (McGaw Park, IL, USA) branchées à une bombonne d'oxygène ou à une bombonne d'air médical pressurisé. Le débit gazeux à partir de la source d'oxygène est ajusté afin d'obtenir le pourcentage désiré d'oxygène inspiré (FIO_2). Dans la présente expérimentation, le débit à travers les canules nasales fut de 5L/min afin d'obtenir une FIO_2 approximative de ~38 % O_2 à partir de la bombonne 100% oxygène et une FIO_2 de 20,9 % O_2 pour l'air médical. La FIO_2 obtenue avec 100% O_2 est la valeur maximale que l'on peut atteindre avec un apport par canules nasales sans éprouver d'inconfort. Rappelons que chacun des sujets respirait à travers des circuits respiratoires identiques. Les canules nasales étaient positionnées à l'entrée des narines et maintenues sous le menton, elles étaient neuves à chacune des séances. Comme mentionné précédemment, les

données de VO_2 max ont été recueillies à l'aide du K4b2 et un cardiofréquencemètre (Polar 610) a permis de suivre le rythme cardiaque des sujets.

CHAPITRE IV ANALYSE

Les variables dépendantes sont la capacité de travail, la fatigabilité (échelle de fatigue BNI et tests neuropsychologiques D-KEFS), la consommation d'oxygène et la distance de marche au test de 6 minutes. La variable indépendante soit le protocole expérimental, est composé du programme d'entraînement aérobie avec intervalles ainsi que l'apport supplémentaire en oxygène ou en air médical.

Une analyse de la variance avec mesures répétées (ANOVA) a été effectuée afin d'évaluer les effets de l'apport d'oxygène sur la puissance de travail, la consommation d'oxygène, sur la fatigabilité et sur la capacité fonctionnelle. Également, un test Tukey HSD a été utilisé afin de déterminer le moment au cours du protocole, où les modifications de la capacité de travail se sont manifestées de façon significative.

CHAPITRE V

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de l'expérimentation sont présentés dans l'article soumis à l'*Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. Les résultats des tests neuropsychologiques D-KEFS ainsi que les différentes modifications qui ont été apporté par rapport à l'avant-projet suivront l'article.

5.1 Effects of aerobic interval training in hyperoxia with brain injured patients

Objective: To measure the effects of an aerobic training program in hyperoxia on aerobic and work capacities as well as subjective fatigue in patients with mild/severe traumatic brain injury (TBI).

Design: Comparative study (hyperoxia versus normoxia).

Setting: A rehabilitation center in Montreal.

Subjects: Twelve subjects with mild/severe TBI, 9 men and 3 women aged between 22 and 61 years old.

Interventions: Patients were randomly assigned to either one of two 6 week aerobic training protocols: A: with 100% oxygen source ($\sim 38\%FIO_2$); B: with medical air ($\sim 20.9\%FIO_2$).

Main Outcome Measures: Power output (load), Åstrand submaximal oxygen consumption tested on bicycle; Subjective fatigue (BNI Fatigue Scale); Six minute walk test. These measures were taken at the beginning and at the end of the training.

Results: Significant difference ($p < 0.05$) between the pre and post tests in power output, in peak workload during the submaximal test, and in the subjective overall fatigue for the subjects trained in hyperoxia. No difference for subjects trained in normoxia. No significant difference in oxygen consumption and on the walk test for both groups.

Conclusions: Oxygen supply during interval training increased TBI subjects' power output. The differential improvement was detectable as early as the third week of training.

Key Words: Traumatic brain injury, intervals training, hyperoxia, fatigue, oxygen consumption.

Following traumatic brain injury (TBI), patients undergo an overall decrease of their physical fitness with changes in muscular activity, reduction of oxygen consumption, higher cardiac responses during exercise, and decrease of the pulmonary capacity¹⁻³. This reduction in fitness performance results essentially from the inactivity during the first months after the injury. It also results from the neurological deficits induced by the trauma such as motor disorders and fatigue¹⁻². Fatigue is a recurring symptom of TBI and has been reported regardless of the injury severity⁴⁻⁶. This fatigue is a strong interference in the rehabilitative process and decreases dramatically patients' daily functional capacity^{2,7}. To help TBI patients to improve their physical fitness, aerobic training can be proposed. Several studies have shown that aerobic training can provide some physiological benefits to TBI patients such as an increase in VO_2 max (maximal oxygen consumption), a better respiratory efficiency during exercise, a reduction of heart rate at rest and a decrease of muscular fatigue^{1,8-10}. However, these benefits were limited because they were not associated with functional improvement and reductions of the physical and psychological aspects of fatigue^{8,11}. Aerobic training did not influence patients' functional independence, measured with the Barthel index, the Rivermead Mobility index and the Nottingham Extended Activities of Daily Living index (NEADLI), nor the psychological health, measured with the Hospital Anxiety and Depression Scale¹. Jankowski and Sullivan⁸ measured the ambulatory efficiency determined by the oxygen consumption during a 3mph walking test and reported the same phenomenon, e.g the aerobic training did not induce any change in the energy cost of walking.

One of the reasons why aerobic training did not provide functional effects in TBI patients in the above studies could be that the level of training reached by the patients was not sufficient. It has been reported that, in comparison to untrained subjects who followed the same training protocol, patients with TBI had a reduced exercise capacity and had difficulties to reach a level of 70% of the VO_2 max or a target heart rate of 150 bpm^{1-2,8-9}. For instance, to reach the same level of exercise intensity as healthy subjects, TBI patients had to be trained for a longer period of time^{8,10}. However because of fatigue symptoms, an increase in training duration is highly demanding for these patients. A possible alternative to help these patients

to improve their performance without increasing the duration of the exercise session is to conduct the training in hyperoxia (O₂ supply). It has been well documented that breathing a hyperoxic gas during exercise increases the working capacity for a given heart rate and the subject's endurance^{12,13}. These increases are proportional to the percentage of consumed oxygen^{12,13}. In a recent study, Perry¹⁴ measured the effects of training in hyperoxia conducted over several weeks. The addition of oxygen (60% O₂) during a 6 week interval training program in untrained healthy subjects lead to a significant increase (8.1%) of the working capacity compared to the same training intensity in normoxia (room air, 20.9% O₂). For a given heart rate, the power output was higher in hyperoxia. Although VO₂ max significantly improved in both conditions (hyperoxia and normoxia), there was no significant difference between both training conditions. Perry¹⁴ suggested that oxygen supply could be a good way to increase the training load in situations where a plateau limits the performance like in elite athletes. In TBI patients, the limitations in the training performance could be compared to a plateau and it is reasonable to believe that oxygen supplementation during training could allow subjects, who have a lower aerobic capacity and a high level of fatigue, to sustain greater training loads.

Based on this hypothesis, the purpose of this study was to measure, in brain injured patients, the effects of an aerobic interval training program in hyperoxia on aerobic capacity, power output and subjective fatigue.

METHODS

Subjects

Patients were recruited from a rehabilitation center in Montreal. They were all involved in a regular physical activity program that was part of their rehabilitation process. Twelve subjects, 8 men and 4 women, aged between 22 and 61 years old with mild to severe TBI (Glasgow Coma Scale score, 11.5 ± 3.4), participated in the study. For most of the subjects the time since injury was less than 1 year (mean $8.7 \text{ months} \pm 7$) and all of the subjects reported an increase of their fatigue since their injury. Informed consent was

obtained from the subjects and the study was approved by the Ethics Committee of the *Centre de Recherche Interdisciplinaire en Réadaptation du Montréal métropolitain*. Patients were excluded if they were unable to sit on a cycle ergometer or if they had known cardiac disease or other comorbidities precluding exercise training. Patients were also excluded if they took medications that influence heart rate.

Training Protocols

Patients were randomly assigned to either one of two training protocols: Protocol A: Aerobic interval training with supplemental 100% oxygen delivered through nasal cannulae (~38% Fraction of Inspired O₂ [FIO₂]); Protocol B: Aerobic training with medical air (~20.9% FIO₂) also delivered through nasal cannulae. Subjects' assignment to one of either group was blind. Under both conditions, air and O₂ were administered at a flow rate of 5 L/min through nasal cannulae (McGaw Park, IL, USA). Nasal cannulae were used because this system was more discrete, more acceptable for patients and it was easier to implement in the gym. Furthermore this method allowed an acceptable FIO₂.

The training was executed with a cycle ergometer (Excalibur Quinton, Groningen, the Netherlands) and the protocol was 2 sessions per week over 6 weeks. Each session lasted 25 minutes and was composed of 6 intervals with intensities ranging from 60 to 85% of estimated HRmax. HRmax was estimated by using the formula of $220 - \text{age}^{15}$. The intervals were: 1) 5 min at 60-65% of HRmax, 2) 5 min at 70-75% of HRmax, 3) 2.5 min at 80-85% of HRmax; 4) 5 min at 70-75% of HRmax; 5) 2.5 min at 80-85% of HRmax; 6) 5 min at 60-65% of HRmax. The interval training intensity was reached with a progressive increase of the workload. Workload was adjusted weekly to maintain target HR. Heart rate was monitored during each session with a heart rate monitor (Polar S610, Vantaa, Finland).

Outcome measures

The workload reached at the third interval (80-85% of the HR max) on each session was considered as the power output. The measure of the submaximal VO₂ (85% HRmax) was

provided with a modified Åstrand test on an electronically braked bicycle ergometer (MIJNHARDT, REM-3, Holland) as followed: a two minute warm-up period at 30 watts with an increase of 20 watts per minute until 85% of age predicted HRmax was reached¹⁵. VO₂ was measured with a portable metabolic unit (Cosmed K4B², Rome, Italy). Subjective fatigue was recorded with the Barrow Neurological Institute (BNI) Fatigue Scale⁶. This scale includes 11 items through which subjects have to score their level of perceived fatigue during different periods of the day. For items 1 to 10, the scoring scale is from 0 (rarely a problem) to 7 (a problem most of the time). For item 11, the scoring scale is from 0 (no problem) to 10 (severe problem). The functional capacity was tested with a six minutes walk test (6-MWT)¹⁶ without warm up. Subjects were required to cover as much distance as possible in 6 minutes by walking back and forth over 30 meters. These measures were taken twice during the 6 week period: at the beginning and at the end of the training.

Data Analysis/Statistical Analysis

Results are presented as mean \pm SD. For each measure the mean and standard deviation of the mean power output (mean load calculated from the two sessions on each week), the peak workload measured during the submaximal test, the VO₂ (85% HRmax), the fatigue scores, and the distance on the 6-MTW test, were calculated using a computer program (Statistica, 6.0). Differences between groups were detected by using analysis of variance (ANOVA) for repeated measures. When significant differences were detected a post-hoc analysis using Tukey's HSD test was performed. Differences in the mean power output between both groups (Hyperoxia vs Normoxia) on a weekly basis was estimated with a two-way ANOVA and the post-hoc Tukey's HSD test. The level of significance was set at $p < 0.05$. Curve fitting in Fig 2 was accomplished with Sigmaplot (Ver 9.01). For the BNI Fatigue Scale⁶, scores on each item were analyzed separately (ANOVA).

RESULTS

Groups comparison

TBI subjects are a highly heterogeneous population^{3,6,17}. In our study, both groups of subjects were comparable in terms of age, sex, time since injury, pre-VO₂ (at 85% HRmax) and pre-working capacity (load developed during the first week at the first 80-85% HRmax interval) (see Table 1).

Adherence to training protocols

All 12 subjects recruited in the study completed the 6 week aerobic interval training program with an average training frequency of 1.75 ± 0.49 sessions per week (Protocol A: 1.8 ± 0.14 and protocol B: 1.7 ± 0.85). Regardless the protocol, the percentage of participation was equivalent (Protocol A: 88.9% and Protocol B: 84.9%). Based on the experience of the physical educators in this field, this high level of adherence was unexpected with this population. Several factors can explain this high level of participation, such as the individualized training (ratio subject-trainer 1:1), the constant encouragements and the integration of the training into the rehabilitation program.

Benefits of interval training

Previous studies have reported that TBI patients had difficulties to reach a training intensity of 70% HRmax⁸. In the present study all the subjects were able to sustain the two peaks of 80-85% HRmax. In itself, this result demonstrates that TBI patients can develop a high level of exercise intensity.

Effects of interval training in hyperoxia on working capacity

After 6 weeks of training, the hyperoxygenated subjects significantly improved their power output (interaction group x test $p < 0.05$) whereas there was no difference in the normoxygenated subjects. Figure 1 illustrates that the mean increase in power output (at 85% HRmax) was 17 watts (± 43) (10% increase) and 7 watts (± 48) (5.3% increase) for the hyperoxia and normoxia subjects, respectively.

An analysis of the training effects on a weekly basis demonstrates that the differential effect of the oxygen supply on the mean power output (in terms of relative change) was observable as early as the third week of training (Tukey's HSD test $p < 0.05$) (see Figure 2). The difference between the mean power output of both groups remained significantly different until the end of the training program (6th week). The nature of the curve, as illustrated in Fig. 2 by the dashed line, is sigmoidal [$y = y_0 + a/(1 + e^{-(x-x_0)/b})$] for both groups, hyperoxia and normoxia ($r^2 = 0.99$ and $r^2 = 0.92$, respectively).

The same effects on the power output were recorded during the submaximal test (85% HRmax). We observed a significant increase ($p < 0.05$) of the peak workload reached during the post test in comparison to the peak workload reached during the pre test for the subjects who were trained in the hyperoxic condition. No difference between the pre and post tests was observable for subjects trained in normoxia. These data confirmed the increase of the power output measured during the training for the subjects trained in hyperoxia (see above).

Effects of interval training in hyperoxia on oxygen consumption

There was no significant difference in oxygen consumption (submaximal test 85% HRmax) between the pre and post tests in both groups of subjects ($p = 0.18$). However, as shown in figure 3, subjects trained in hyperoxia showed a 16% average increase of their VO_2 (85% HRmax) compared to subjects trained in normoxia who had a 4% average decrease of their VO_2 .

Effects of training in hyperoxia on subjective level of fatigue

A significant difference was observed only for the responses on item 11 (e.g. Please circle your overall level of fatigue since your injury) for the subjects who were trained in hyperoxia. As illustrated in figure 4, these subjects reported a significant decrease (interaction group x test $p < 0.05$) of their overall level of fatigue after 6 weeks of training. Subjects trained in normoxia reported no difference.

Effects of training in hyperoxia on functional capacity

No difference was observed between the pre and post tests for both groups of subjects in the 6-MWT¹⁶. For the group trained in hyperoxia the mean distance walked pre test was 664m (± 60) and the mean distance walked after 6 weeks was 593m (± 74). For the group trained in normoxia the mean distance walked pre test was 618m (± 74) and the mean distance walked after 6 weeks was 604m (± 88).

DISCUSSION

The purpose of this study was to examine the effects of an aerobic training program in hyperoxia with brain injured patients. For each subject the training was integrated in their regular program of physical activity. In order to optimize subjects' adherence to the study we followed the schedule already fixed by the physical educators with two training sessions per week. The implementation of the experimental protocols was very successful and lead to a high level of subjects participation.

Power output

In previous studies it has been demonstrated that oxygen supply can improve the exercise capacity with healthy subjects¹²⁻¹⁴. Our results show that TBI subjects, as sedentary subjects, were sensitive to oxygen supply and improved their power output during the training. Because the difference in the power output between both groups of subjects

appeared as early as the third week of training, oxygen supply seems to accelerate the benefits of the aerobic training with these patients. In fact, the sigmoidal relationship illustrated in Fig 2 indicates that by the fourth week of training a plateau is reached in both groups. The plateau, however, in the hyperoxic group was higher than the control group (normoxic group) suggesting that oxygen supplementation has an effect on trainability. Even though, the normoxic group reached a plateau by week 4, the increase was not significant when compared to week 1. Thus, these observations appear to suggest that not only was there a training effect but that oxygen supplementation did contribute to increasing power output when combined to an interval training regimen. The workload increase observed in our study for subjects trained in hyperoxia confirms Perry's results¹⁴. It has been proposed that the ability to sustain higher training workloads under hyperoxia may be due to an increase in intracellular PO_2 and muscle VO_2 ¹⁴.

The observed improvements in power output are probably not only the effects of the oxygen addition but result from the combination of the oxygen supply with the training method (i.e. intervals). This combination induced early benefits. In previous studies conducted with TBI patients, training protocols were mostly sustained training at a level of 60-70% of the HRmax that lasted between 25 to 45 minutes^{1,8-10}. It has been demonstrated that training with intervals is better to solicit aerobic processes because the total workload reached during a training session is higher than during sustained training¹⁵. In addition, interval training is less monotonous for the subjects and can be provided on a shorter period of training. Our study was the first to test the effects of an interval training program with TBI patients. With this type of training, subjects were able to reach twice the highest intensity of training (80-85% HRmax) on each session. It demonstrates that this modality of training is very efficient with these patients to increase their intensity of work.

In Perry's study¹⁴, subjects trained in hyperoxia and in normoxia displayed both a significant increase of their VO_2 max after the 6 weeks training. In addition subjects trained in hyperoxia showed at the end of the training a greater improvement in oxygen consumption than subjects trained in normoxia but this difference was not significant. In our study, there was no significant improvement of the VO_2 max in both groups. However, as in Perry's study¹⁴, TBI subjects trained in hyperoxia displayed a greater increase of their VO_2 max (16% increase)

than the normoxia group (-4% decrease) (Figure 3). In our study, the short duration of the training and the frequency of the training sessions (twice per week) were limiting factors and could explain why we did not observe any significant improvement of the VO_2 max in both groups. Another reason could be that TBI patients have a longer adaptation latency and/or use other mechanisms to compensate for their exercise limits that slow down the effects of the training on oxygen consumption. However the tendency observed in our study as in Perry's study (e.g. greater improvement of oxygen consumption in hyperoxia) suggests that oxygen supply delivered on a longer period of time than the 6 week period allowed in this study could have a real impact on oxygen consumption.

The effects of the increased oxygen supply observed in our study, which are the increase of the workload and the lack of significant improvement of the VO_2 , support Perry's hypothesis according to which hyperoxia would induce first peripheral changes at a muscular level followed by central effects¹⁴.

To measure the impact of training in hyperoxia on functional independence, two tests were used; the 6-MWT and the BNI Fatigue scale. The 6-MWT is a common test that has been used with different populations (elderly, stroke patients, cardiac disease, COPD) to measure functional capacity^{16,18-19}. Because the subjects in our study were not impaired in locomotion and in balance, and because they performed as healthy subjects, the training did not induce any change in this test independent the protocol (hyperoxia or normoxia). Perhaps the reason for a lack of difference in distance covered was that maximal walking speed was reached in both the pre and post 6-MWT, or because the test was not stressful enough.

The fatigue examined in our study was perceived fatigue meaning «the conscious decreased ability for a physical and/or mental activity due to an imbalance in availability, utilization or the retrieval of the physiological or psychological resources required to perform the activity»²⁰. It was very interesting to observe that after 6 weeks of training with oxygen, TBI subjects perceived a less overall fatigue measured with the BNI fatigue scale (item 11). Muscular fatigue was not measured in our study but it would be interesting in the future to

correlate the subjective fatigue (perceived fatigue) with more physiological parameters of fatigue.

CONCLUSION

The results of the present study demonstrate that several months after their injury, TBI patients were able to sustain high level of exercise. Interval training combined with oxygen-therapy was an efficient method to increase the patients' power output and to decrease their overall fatigue perception. These improvements are essential because they can help TBI patients to regain previous fitness levels and to have a better response to the multidisciplinary interventions included into the rehabilitation program.

Acknowledgement

We express our gratitude to the subjects who participated in the study and special thanks to Eric LeBouthillier and Geneviève Lemire, both physical educators at CRLB.

References

- 1- Bateman A, Culpan J, Pickering AD, Powell JH, Scott OM, Greenwood RJ. The effect of aerobic training on rehabilitation outcomes after recent severe brain injury: A randomized controlled evaluation. *Arch Phys Med Rehabil* 2001;82:174-182.
- 2- Gordon WA, Sliwinski M, Echo J, McLoughlin M, Sheerer M, Meili TE. The benefits of exercise in individuals with traumatic brain injury: A retrospective study. *J Head Trauma Rehabil* 1998;13:58-67.
- 3- Vitale AE, Sullivan J, Jankowski LW, Fleury J, LeFrançois C, LeBouthillier E. Screening of health risk factors prior to exercise or fitness evaluation of adults with traumatic brain injury: a consensus by rehabilitation professionals. *Brain Inj* 1995;10:367-375.
- 4- LaChapelle D, Finlayson MA. An evaluation of subjective and objective measures of fatigue in patients with brain injury and healthy controls. *Brain Inj* 1998;12:649-659.
- 5- Fisk JD, Ritvo PG, Ross L, Haase DA, Marrie TJ, Schlech WF. Measuring the functional impact of fatigue: Initial validation of the Fatigue Impact Scale. *Clin Infect Dis* 1994;18(Suppl 1):S79-S83.
- 6- Borgaro R, Gierok S, Caples H, Kwasnica C. Fatigue after brain injury: initial reliability study of the BNI Fatigue Scale. *Brain Inj* 2004;18:685-690.
- 7- Burleigh SA, Farber RS, Gillard M. Community integration and life satisfaction after traumatic brain injury: Long-term findings. *Am J Occup Ther* 1997;52:45-52.
- 8- Jankowski LW, Sullivan J. Aerobic and neuromuscular training: Effect on the capacity, efficiency, and fatigability of patients with traumatic brain injuries. *Arch Phys Med Rehabil* 1990; 71: 500-504.

- 9- Hunter M, Tomberlin JA, Kirkikis C, Kuna ST. Progressive exercise testing in closed head-injured subjects: Comparison of exercise apparatus in assessment of a physical conditioning program. *Phys Ther* 1990;70:363-371.
- 10- Bhambhani Y, Rowland G, Farag M. Effects of circuit training on body composition and peak cardiorespiratory responses in patients with moderate to severe traumatic brain injury. *Arch Phys Med Rehabil* 2005;86:268-276.
- 11- Chaldler T, Berelowitz G, Pawlikowska T, Watts L, Wessely S, Wright D, et al. Development of a fatigue scale. *J Psychosom Res* 1993;37:147-53.
- 12- Wilson B, Welch HG. Effect of hyperoxic gas mixtures on exercise tolerance in man. *Med Sci Sports* 1975;7:48-52.
- 13- Plet J, Pederson PK, Jensen FB, Hansen JK. Increased working capacity with hyperoxia in humans. *Eur J Appl Physiol* 1992;65:171-177.
- 14- Perry CGR, Reid J, Perry W, Wilson BA. Effects of hyperoxic training on performance and cardiorespiratory response to exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37:1175-1179.
- 15- Heyward VH. Principles of Assessment, Prescription, and Exercise Program Adherence. In: Bahrke, M.S., Mustain, E.H. and Schwarzenraub, M., editors. *Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription*. Champaign: Human Kinetics, 2002: 49-85.
- 16- The American Thoracic Society. ATS Statement: Guidelines for the 6-minute Walk test. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 166: 111-117.
- 17- Siesjö BK. Basic mechanisms of traumatic brain damage. *Ann Emerg Med* 1993;22: 959-969

18- Enright PL, McBurnie MA, Bittner V, Tracy RP, McNamara R, Arnold A, Newman AB. The 6-min walk test: a quick measure of functional status in elderly adults. *Chest* 2003; 123(3): 325-327.

19- Van loo MA, Moseley AM, Bosman JM, de Brie RA, Hassett L. Test-re-test reliability of walking speed, step length and step with measurement after traumatic brain injury: a pilot study. *Brain Inj* 2004; 18(10): 1041-1048.

20- Aaronson LS, Teel CS, Cassmeyer V, Neuberger GB, Pallikkathayil L, Pierce J et al. Defining and measuring fatigue. *Image J Nurs Sch* 1999; 31: 45-50.

Figure Legends

Figure 1:

Power after 6 training weeks

Power output increases after 6 weeks of training in the hyperoxia and the normoxia groups. Black bars ($n = 6$) correspond to the mean power (watts) developed during the first week of training (average of the power measured at the first 80 – 85 % HR max interval on two sessions). White bars ($n = 6$) correspond to the mean power developed during the sixth week of training. Value are means \pm SD. *Significant pre-post difference for the hyperoxia group ($p < 0.05$).

Figure 2:

Improvement in power output per week

Relative change (%) to week one of the power output on a weekly basis. Filled circles represent the hyperoxia group and the empty circles represent the normoxia group. * Significant difference compared to week one. ($p < 0.05$).

Figure 3:

Percentage of VO_2 increase (at 80-85% HRmax)

Oxygen consumption improvements (%) relative to the submaximal VO_2 pre test.

Figure 4:

Subjective fatigue after 6 training weeks

Mean scores on item 11 of the BNI Fatigue scale in both groups before and after the training.

* Significant pre-post difference for the hyperoxia group ($p < 0.05$).

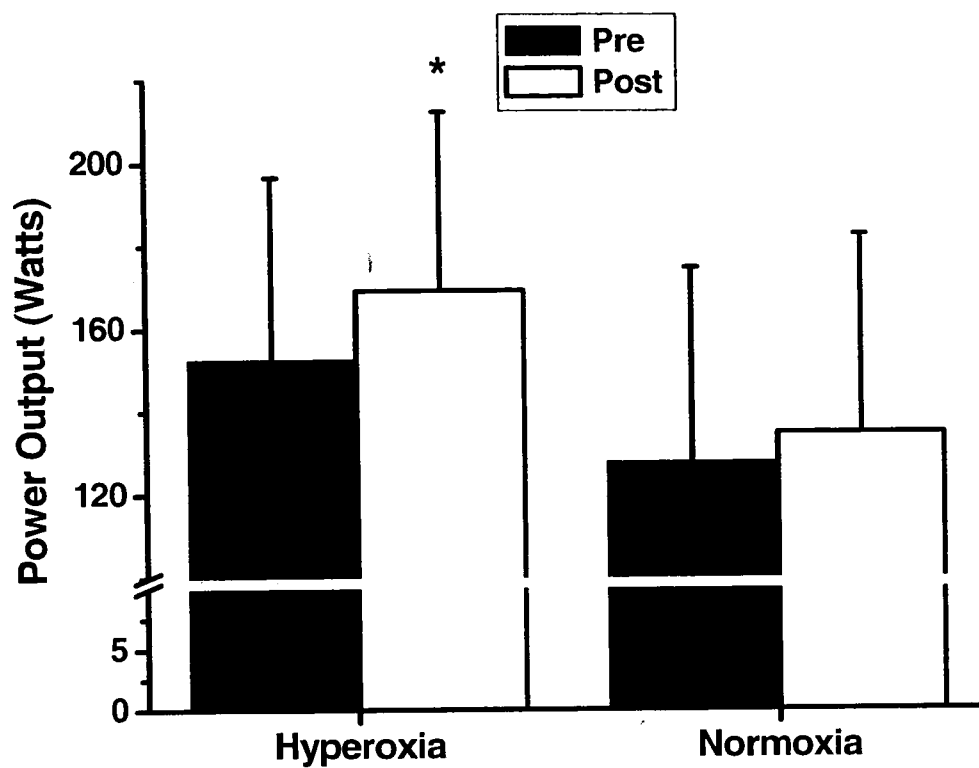


Figure 2 Power after 6 training weeks

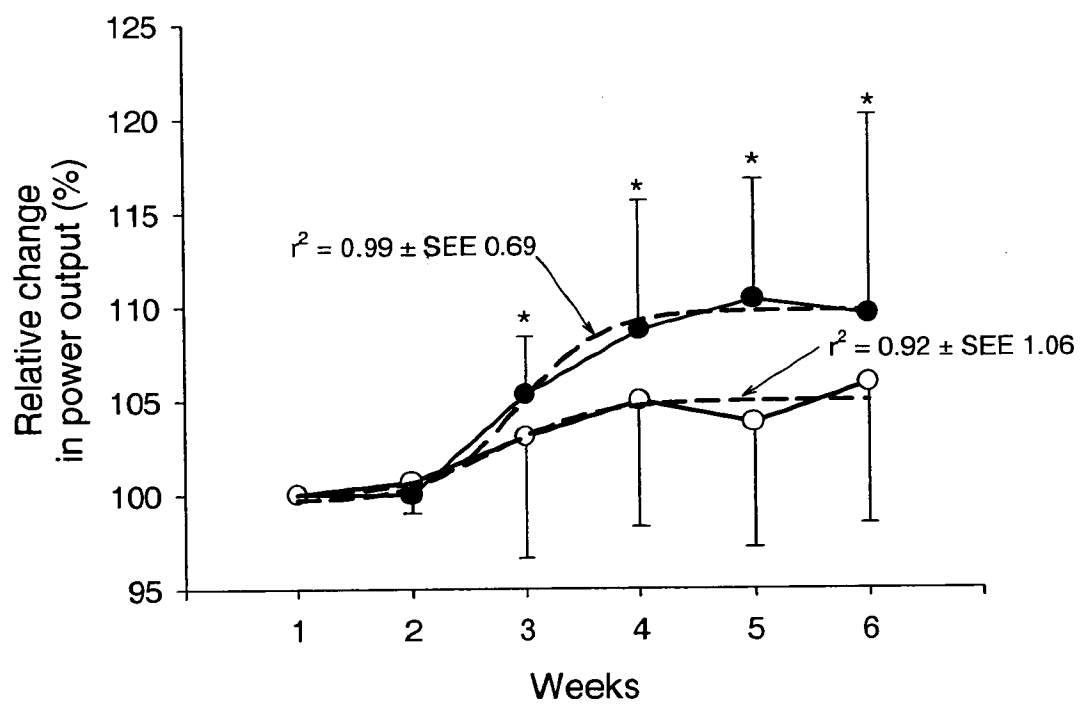


Figure 3 Improvement in power output per week

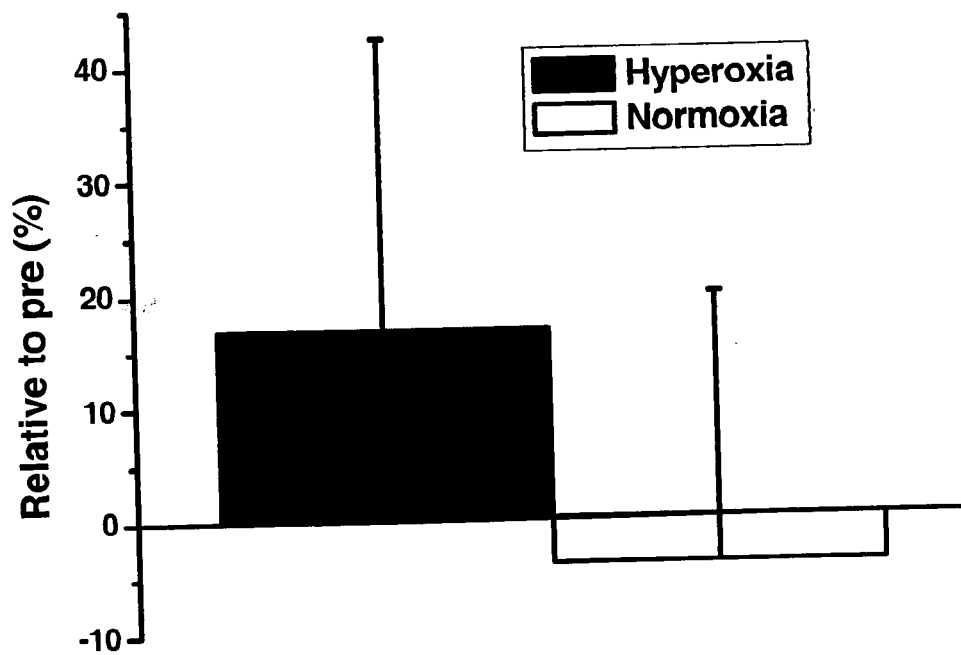


Figure 4 Percentage of VO2 increase (at 80-85 % HRmax)

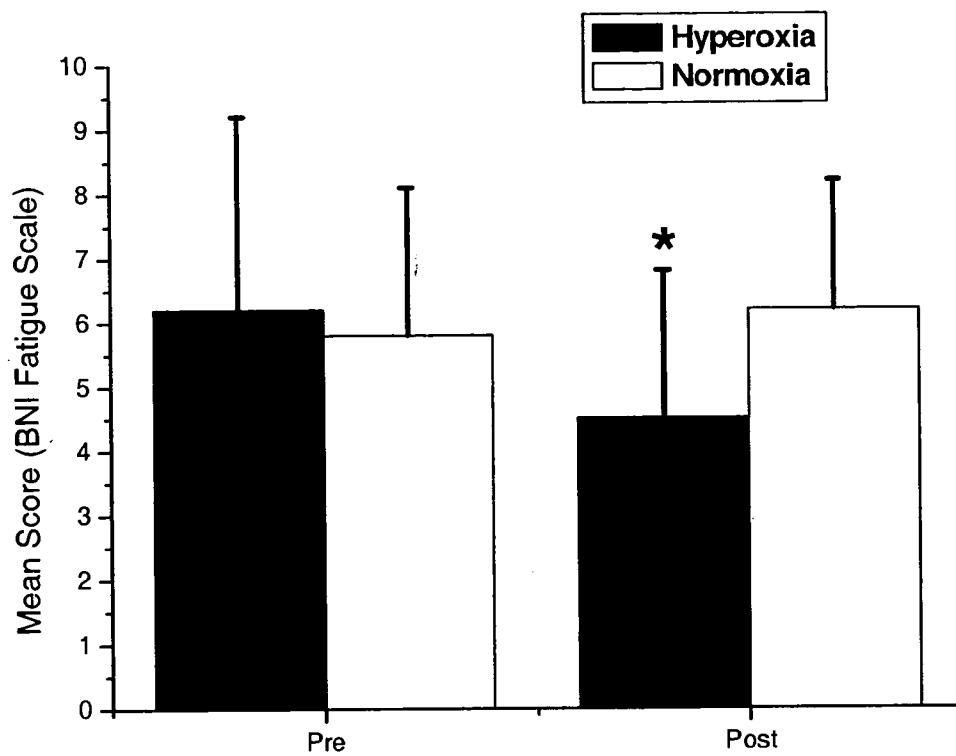


Figure 5 Subjective fatigue after 6 training weeks

Tableau 1 Subjects characteristics

Variable	Subjects trained in Hyperoxia n=6	Subjects trained in Normoxia n=6
Age (year) n.s	37.7±10.3	41.8±13.6
Gender n.s.	2 F, 4 M	2F, 4 M
Time Since Injury (month) n.s	9.7±7.7	11.3±8.4
Initial Power Output (watts) n.s	152±44	127±47
Initial Oxygen Consumption (85% HRmax) (ml/kg/min)	23.4±8.3	25.6±7.9 n.s
GSC n.s	11.2 ±3.8	12.5 ±3.3
Time since injury (month) n.s	9.6 ±7.4	1±7.8

n.s: non significant, $p>0.05$. Values are presented as mean \pm S.D.

F: female M: male

GCS : Glasgow Coma Scale

5.2 Adhérence au protocole d'entraînement

Contrairement aux 12 semaines d'entraînement établies au départ, la durée du programme fut de 10 semaines. Deux semaines ont été nécessaires au recrutement des sujets et à la prise de mesures pré-test. De plus, nous anticipions une baisse de participation à partir du 1^{er} juin en raison d'une part de l'approche de la période de vacances et de la chaleur. Nous avons donc déterminé une date finale soit le 30 mai. Sur les quatorze sujets recrutés dans l'étude, douze d'entre eux ont complété les 10 semaines d'entraînement. Deux sujets n'ont pu compléter le projet. Dans un des cas, le sujet a abandonné le projet et dans le deuxième cas, le sujet se trouvait dans l'incapacité d'atteindre l'intensité d'entraînement ciblée en raison d'une faiblesse musculaire occasionnée par de multiples blessures musculosquelettiques aux membres inférieurs. Douze sujets ont donc complétés le protocole avec une fréquence d'entraînement de près de 1,75 séances par semaines pour les 6 premières semaines (1,8 pour le groupe avec O₂ et de 1,7 pour le groupe sans O₂) et de 1,6 séances/semaines pour la durée totale de 10 semaines (1,7 pour le groupe avec O₂ et de 1,4 pour le groupe sans O₂). Le pourcentage de participation fut à peu près le même peu importe le protocole expérimental avec une moyenne de présence de 86,8% pour les 6 premières semaines et de 75,5% pour la durée totale de 10 semaines.

Note : Nous avons décidé de n'inclure dans l'article que les données relatives aux 6 premières semaines pour des raisons de fiabilité. Les tests de consommation d'oxygène à la 10^e semaine ont été faits avec un autre appareil que ceux faits à la 1^{ère} et à la 6^e semaine et nous avons remarqué une différence due probablement à la calibration. Par ailleurs les conditions climatiques étaient très différentes entre les 1^{ère}/6^e et la 10^e semaine d'expérimentation ce qui a influencé la performance.

5.3 Effets de l'entraînement en hyperoxie sur la fatigue quantitative

Afin d'évaluer l'impact de l'oxygénothérapie sur la fatigue cognitive, l'analyse des résultats de 3 tests du D-KEFS a été effectuée. Pour chacun des trois types de tests (Trail Making test, Design Fluency test et Verbal Fluency test) nous avons utilisé une ANOVA

avec mesures répétées. Pour tous les types de test, aucune différence significative n'a été démontrée entre les sujets qui se sont entraînés en hyperoxie ou en normoxie. Une plus longue durée du programme d'entraînement aurait peut-être été nécessaire à l'apparition d'une différence entre les 2 groupes expérimentaux. Dans le cas du Verbal Fluency test, la grande diversité culturelle des sujets à l'étude ainsi que les différences linguistiques rendent les données très hétérogènes. Les résultats seraient donc peu transférables à l'ensemble de la population TCC.

CHAPITRE VI

CONCLUSION

L'établissement d'un programme d'entraînement adapté est l'une des alternatives proposées en réadaptation pour contrer les problématiques de faible capacité aérobie, de tolérance à l'effort moindre et de fatigabilité persistante. La majorité des études évaluant les effets de l'entraînement chez une clientèle TCC propose un protocole d'entraînement aérobie de type continu d'une durée variant de 25 minutes à 45 minutes. De plus, l'intensité d'entraînement se situait généralement entre 60 et 70% de la FCmax prédite (Bateman et al., 2001; Jankowski et Sullivan, 1990; Bhambhani et al., 2005; Gordon et al., 1998; Hunter et al., 1990). Toutefois, bien que les sujets aient été en mesure de compléter les entraînements, les études démontrent que la majorité des sujets n'ont pu atteindre l'intensité maximale d'entraînement ciblée, soit 70% de la FCmax (Hunter et al., 1990; Jankowski et Sullivan, 1990) et obtenu des bénéfices fonctionnels. Dans notre étude, tous les sujets ont été en mesure de soutenir les deux intervalles maximaux de 80-85% de la FCmax prédite. Ce résultat en lui-même démontre que les sujets TCC peuvent développer des intensités d'entraînement élevées et que l'entraînement avec intervalles le leur permet. Nous avons également démontré que les sujets TCC, comme les sujets sédentaires (Perry et al., 2005), sont sensibles à l'apport d'oxygène au cours de l'entraînement, et que cet apport d'O₂ leur permet d'augmenter leur puissance de travail.

L'apport d'oxygène semble accélérer les bénéfices d'un entraînement aérobie avec cette clientèle. L'amélioration de la puissance de travail observée résulte du mode d'entraînement par intervalles et de l'apport supplémentaire en oxygène. Nous croyons que c'est cette combinaison qui a induit les rapides améliorations observées. L'oxygénothérapie au cours de l'entraînement permet de soutenir une charge d'entraînement plus élevée, responsable de l'augmentation de la charge développée à 85% de la FCmax après seulement 6 semaines d'entraînement. Conjointement aux bénéfices physiologiques décrits précédemment, l'oxygénothérapie semble diminuer la perception générale de la fatigue chez cette clientèle. La fatigue est un symptôme prédominant chez les sujets TCC interférant avec

le processus de réadaptation. Il est intéressant d'observer qu'après seulement 6 semaines d'entraînement en hyperoxie, les sujets perçoivent moins de fatigue.

Les données de la présente étude démontrent qu'après quelques mois suite au trauma, les sujets TCC sont en mesure de soutenir des intensités d'entraînement importantes. La combinaison d'un entraînement par intervalles à une oxygénothérapie se révèle une méthode efficace pour augmenter la puissance de travail des patients et de diminuer leur perception de la fatigue. Ces améliorations sont essentielles puisqu'elles soutiennent les patients TCC dans leur volonté de retrouver le plus tôt possible leur condition physique antérieure. Également, ces améliorations permettent aux patients de mieux répondre aux diverses interventions multidisciplinaires de la réadaptation. Ainsi, ils en retireront les réels bénéfices escomptés.

ANNEXE 1

Caractéristiques principales des sujets

Sujets	Âge	Sexe	GCS	Degré du TCC	Durée post-accident	Cause du traumatisme	Assiduité sur 18 séances*	Groupe expérimental (C ou E)
1	23 ans	M	12/15	Modéré	3 mois	Accident voiture	10/18	E
2	44 ans	M	11/15	Modéré	5 mois	Assaut	13/18	E
3	61 ans	F	14/15	Léger	8 mois	Accident voiture	17/18	C
4	49 ans	M	15/15	Léger	1 ans	Accident de ski	12/18	E
5	30 ans	F	13/15	Modéré	9 mois	Accident de voiture	15/18	E
6	46 ans	M	6/15	Modéré	18 mois	Accident vélo/voiture	15/18	C
7	41 ans	M	14/15	Modéré	24 mois	Accident vélo/voiture	14/18	C
8	49 ans	F	13/15	Modéré	12 mois	Accident piéton/voiture	10/18	C
9	34 ans	M	4/15	Sévère	5 mois	Accident de voiture	17/18	E
10	46 ans	F	12/15	Modéré	24 mois	Accident de voiture	18/18	E
11	22 ans	M	13/15	Modéré	3 mois	Accident piéton/voiture	10/18	C
12	32 ans	M	15/15	modéré	3 mois	Accident planche à neige	14/18	C

GCS : Score à l'échelle de Glasgow

* : Bien que les séances s'étendent sur 10 semaines, 2 semaines ont été nécessaires à la prise de données mi-test (à la 6^e semaine). Ceci explique pourquoi le total des séances est de 18 séances et non de 20 séances.

Groupe contrôle et groupe expérimental : C : sans O₂ E : avec O₂

ANNEXE 2
BNI Fatigue Scale

Nom: _____ Date: _____

Pour chacun des énoncés suivants, veuillez indiquer le niveau de difficulté éprouvé depuis votre accident. Indiquez à l'aide de l'échelle suivant le chiffre (un seul) correspondant le plus justement à votre niveau de difficulté.

0	1	2	3	4	5	6	7
Rarement un problème		Un problème occasionnel mais non fréquent		Fréquemment un problème		Un problème la plupart du temps	

- 1- Maintenir mon niveau d'énergie tout au long de ma journée
 - 2- Participer à mes activités malgré ma fatigue
 - 3- Rester éveillé durant la journée
 - 4- Compléter une tâche sans devenir fatigué
 - 5- Rester alerte durant mes activités
 - 6- Au réveil, atteindre un niveau d'énergie suffisant pour commencer ma journée
 - 7- Ne pas retourner me coucher au cours de la journée
 - 8- Rester alerte même si je ne suis pas en train de faire quelque chose
 - 9- Attendre après quelque chose sans somnoler
 - 10-Passer toute la journée sans prendre de sieste
-

11-Veuillez encercler votre niveau de fatigue général depuis votre accident

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pas de problème						Problème sévère				

*Échelle de fatigue traduite du *BNI Fatigue Scale* (Barrow Neurological Institute) (Borgaro, Gierok, Caples et Kwasnica, 2004)

ANNEXE 3

D-KEFS

- ✓ **D-KEFS Verbal Fluency Test**
- ✓ **D-KEFS Design Fluency Test**
- ✓ **D-KEFS Trail Making Test**

D-KEFS Verbal Fluency Test (continued)

Condition 3: Category Switching

Fruits / Furniture

First
Interval:
1-15
Seconds

Second
Interval:
16-30
Seconds

Third
Interval:
31-45
Seconds

Fourth
Interval:
46-60
Seconds

1"-15"
Fruits

Furniture
Correct
Responses*

16"-30"
Fruits

Furniture
Correct
Responses*

31"-45"
Fruits

Furniture
Correct
Responses*

46"-60"
Fruits

Furniture
Correct
Responses*

Category Switching:
Total Switching
Accuracy

Fruits
Total Correct
Responses*

+

Furniture
Total Correct
Responses*

=

1"-60"

Category Switching:
Total Correct Responses*

Raw
Score

* Correct responses are summed
independent of switching accuracy.

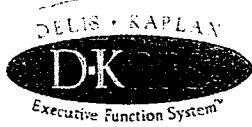
Total Set-Loss Errors

Total Repetition Errors

Category Switching: Total Switching Accuracy
Fruits Total Correct Responses*
Furniture Total Correct Responses*
Category Switching: Total Correct Responses*
Raw Score

** Note: Some repetition errors are coded also as set-loss errors, each double-coded error counts as only one response for the total responses measure

Verbal

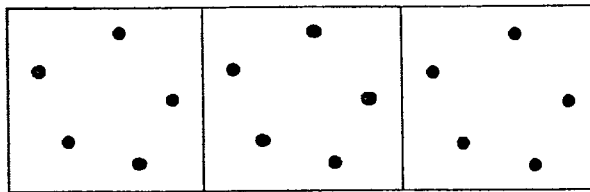



Name _____ Age _____
ID _____ Date _____
Examiner _____
Notes **TESTOTHEQUE**
UQAM

Design Fluency Test

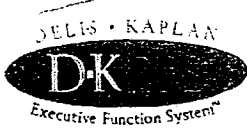
Condition
Filled Dots

Practice



 **THE
PSYCHOLOGICAL
CORPORATION**
A Harcourt Assessment Company

Copyright © 2003 by The Psychological Corporation.
All Rights Reserved. All other trademarks and service marks
are the property of their respective owners.

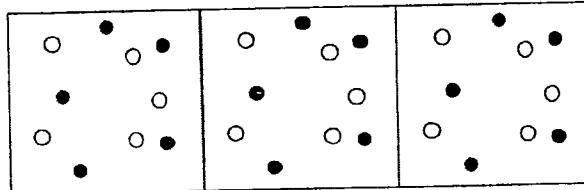



Name _____ Age _____
ID _____ Date _____
Examiner _____
Notes _____
TESTOTHÈQUE
UQAM

Design Fluency Test

Condition 2
Empty Dots Only

Practice



 **THE PSYCHOLOGICAL CORPORATION**
A Harcourt Assessment Company

Copyright © 2003 by The Psychological Corporation
All rights reserved. Printed in the United States of America.

456748101



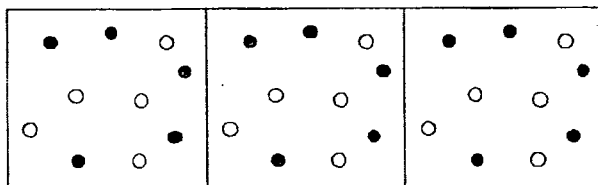
Name _____ Age _____
ID _____ Date _____
Examiner _____
Notes _____


TESTOTHEQUE
UQAM

Design Fluency Test

Condition
Switching

Practice



 THE
PSYCHOLOGICAL
CORPORATION
A Harcourt Assessment Company

Copyright © 2001 by The Psychological Corporation
A Harcourt Assessment Company. All rights reserved.
Printed in the United States of America.

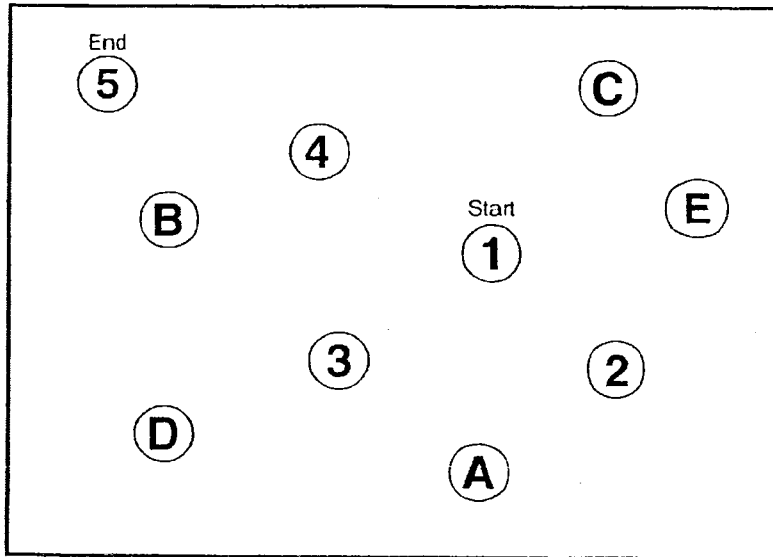


Trail Making Test

Name _____ Age _____
ID _____ Date _____
Examiner TESTER
Notes 10/14

Controlled
Number Sequence

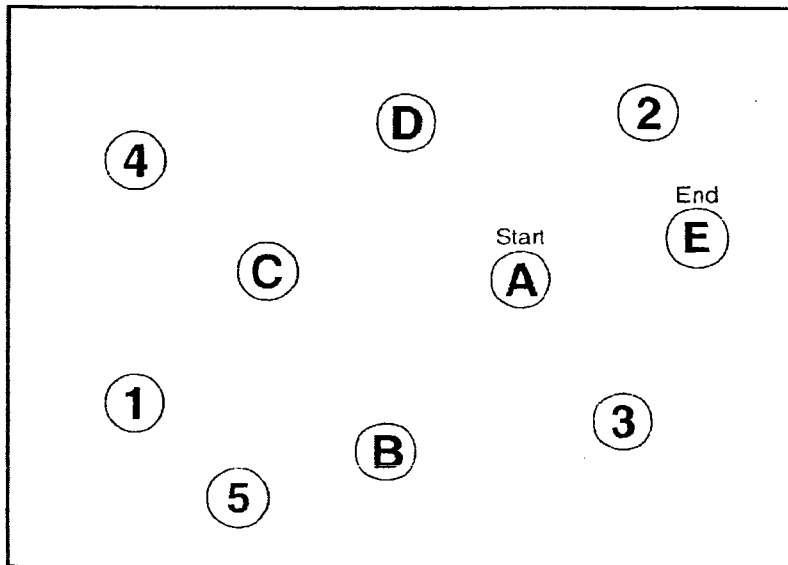
Practice





Name _____ Age _____
ID _____ Date _____
Examiner _____
Notes TECHNIQUE

Practice



BIBLIOGRAPHIE

Aaronson, L.S., Teel, C.S., Cassmeyer, V., Neuberger, G.B., Pallikkathayil, L., Pierce, J. et al. Defining and measuring fatigue. *Image-the journal of nursing scholarship* 1999; 31: 45-50.

Amerinca College of Sports Medicine (ACSM). ACSM,s Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 7th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2006, 366 p.

Azouvi, P., Couillet, J., Leclercq, M., Martin, Y., Asloun, S. and Rousseaux, M. Divided attention and mental effort after severe traumatic brain injury. *Neuropsychologia* 2004; 42: 1260-1268.

Bateman, A., Culpan, J., Pickering, A.D., Powell, J.H., Scott, O.M. and Greenwood, R.J. The effect of aerobic training on rehabilitation outcomes after recent sever brain injury: A randomized controlled evaluation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 2001; 82: 174-182.

Belmont, A., Agar, N., Hugeron, C., Gallais, B. and Azouvi, P. Fatigue and traumatic brain injury. *Annales de Réadaptations et de Médecine Physique* 2006; 49: 370-374.

Bhambhani, Y., Rowland, G. and Farag, M. Effects of circuit training on body composition and peak cardiorespiratory responses in patients with moderate to severe traumatic brain injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 2005; 86: 268-276.

Borgaro, R., Gierok, S., Caples, H. and Kwasnica, C. Fatigue after brain injury: initial reliability study of the BNI Fatigue Scale. *Brain Injury* 2004; 18: 685-690.

Burleigh, S.A., Farber, R.S. and Gillard, M. Community integration and life satisfaction after traumatic brain injury: Long-term findings. *American Journal of Occupational Therapy* 1997; 52: 45-52.

Capro, R.O., Casaburi, R., Coates, A.L., Enright, P.L., MacIntyre, N.R., McKay, R.T., Jonhson, D., Wanger, J.S. and Zeballos, R.J. ATS Statement: Guidelines for the 6-minute Walk test. *American Journal of Respiratory Critical Care Medicine* 2002; 166: 111-117.

Clifton, G., Kreutzer, J., Choi, S.C., Devany, C.W., Eisenberg, H.M., Foulkes, M.A., Jane, J., Marmarou, A. and Marshall, L. Relationship between Glasgow outcome Scale and neuropsychological measures after brain injury. *Neurosurgery* 1993; 33: 34-39.

Delis, D.C., Kaplan, E. and Kramer, J.H. Delis-Kaplan executive function system (D-KEFS). The Psychological Corporation, a Harcourt Assessment Company 2001.

Enright, P.L., McBurnie, M.A., Bittner, V., Tracy, R.P., McNamara, R., Arnold, A. and Newman, A.B. The 6-min walk test: a quick measure of functional status in elderly adults. *Chest* 2003; 123(3): 325-327.

Fisk, J.D., Ritvo, P.G., Ross, L., Haase, D.A., Marrie, T.J. and Schlech, W.F. Measuring the functional impact of fatigue: Initial validation of the Fatigue Impact Scale. *Clinical Infectious Diseases* 1994; 18(Suppl 1): S79-S83.

Gordon, W.A., Sliwinski, M., Echo, J., McLoughlin, M., Sheerer, M. and Meili, T.E. The benefits of exercise in individuals with traumatic brain injury: A retrospective study. *Journal of Head Trauma Rehabilitation* 1998; 13: 58-67.

Guyatt, G.H., Sullivan, M.J., Thompson, P.J., Pugsley, S.O., Taylor, D.W. and Berman L.B. The 6-minute walk: a new measure of exercise capacity in patients with chronic heart failure. *Canadian Medical Association journal* 1985; 132: 919-23.

Heyward, V.H. Principles of Assessment, Prescription, and Exercise Program Adherence. In: Bahrke, M.S., Mustain, E.H. and Schwarzenraub, M., editors. *Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription*. Champaign: Human Kinetics, 2002: 49-85.

Hunter, M., Tomberlin, J.A., Kirkikis, C. and Kuna, S.T. Progressive exercise testing in closed head-injured subjects: Comparaison of exercise apparatus in assessment of a physical conditioning program. *Physical Therapy* 1990; 70: 363-371.

Jankowski, L.W. and Sullivan, J. Aerobic and neuromuscular training: Effect on the capacity, efficiency, and fatigability of patients with traumatic brain injuries. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 1990; 71: 500-504.

LaChapelle, D. and Finlayson, M.A. An evaluation of subjective and objective measures of fatigue in patients with brain injury and healthy controls. *Brain Injury* 1998; 12: 649-659.

Mazaux, J-M., Masson, F., Levin, S.H., Alaoui, P., Maurette, P., Barat, M. Long-term neuropsychological outcome and loss of social autonomy after traumatic brain injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 1997; 78: 1316-1320.

McLean, K.P., Harbst, K. and Harbst, T. Brain Injury. In: Myers, J.N., Herbert, W.G. and Humphrey, R., editors. *ACSM's Resources for Clinical Exercise Physiology: Musculoskeletal, Neurological, Neoplastic, Immunologic and Hematologic Conditions*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2002: 98-108.

Meythaler, J.M., Peduzzi, J.D., Eleftheriou, E. and Novack, T.A. Current concepts: Diffuse axonal injury-associated traumatic brain injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 2001; 82: 1461-1471.

Patajan, J.H. and White, A.T. Recommendations for physical activity in patients with multiple sclerosis. *Sports Medicine* 1999; 27: 179-191.

Perry, C.G.R., Reid, J., Perry, W., and Wilson, B.A. Effects of hyperoxic training on performance and cardiorespiratory response to exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2005; 37: 1175-1179.

Plet, J., Pederson, P.K., Jensen, F.B. and Hansen, J.K. Increased working capacity with hyperoxia in humans. *European Journal of Applied Physiology* 1992; 65: 171-177.

Siesjö, B.K. Basic mechanisms of traumatic brain damage. *Annals of Emergency Medicine* 1993; 22: 959-969.

Sullivan, J., Richer, E. and Laurent, F. The role of and possibilities for physical conditioning programs in the rehabilitation of traumatically brain-injured persons. *Brain Injury* 1990; 4: 407-414.

Van loo, M.A., Moseley, A.M., Bosman, J.M., de Brie, R.A. et Hassett, L. Test-re-test reliability of walking speed, step length and step with measurement after traumatic brain injury: a pilot study. *Brain Injury* 2004; 18(10): 1041-1048.

Van Zomeren, A.H., Brouwer, W.H. and Deelman, B.G. Attentional deficits: The riddles of selectivity, speed, and alertness. In D. Brooks (ed). *Closed Head Injury: Psychological, social and family consequences*. Oxford: Oxford University Press, 1984: 74-107.

Vitale, A.E., Sullivan, J., Jankowski, L.W., Fluery, J., LeFrançois, C. and LeBouthillier, E. Screening of health risk factors prior to exercise or fitness evaluation of adults with traumatic brain injury: a consensus by rehabilitation professionals. *Brain Injury* 1995; 10: 367-375.

Weiller C, Rijntjes M. Learning, plasticity, and recovery in the central nervous system. *Experimental Brain Research* 1999; 128: 134-138S.

Wilson, B.A. and Welch, H.G. Effect of hyperoxic gas mixtures on exercise tolerance in man. *Medicine and Science in Sports* 1975, 7: 48-52

White, L.J. and Dressendorfer, R.H. Exercise and multiple sclerosis. *Sports Medicine* 2004; 34: 1077-1100.

Will, B., Galani, R., Kelche, C. and Rosenweig, M.R. Recovery from brain injury in animals: relative efficacy of environmental enrichment, physical exercise or formal training. *Progress in Neurobiology* 2004; 72: 167-182.